



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE SIMULACIÓN DINÁMICA DE DESLUMBRAMIENTO

Autor:

Camarero Muñoz, Adrián

Tutor:

Mansilla Gallo, Alberto

Departamento

CMeIM /Área de Ingeniería Mecánica

Valladolid, noviembre de 2016.

Resumen

Este proyecto presenta una investigación sobre el deslumbramiento molesto y perturbador en el desempeño de la conducción en condiciones fotópicas, mesópicas o escotópicas. Basado en distintos estudios publicados; analiza las causas y la influencia de diversas variables conocidas que lo afectan y sus limitaciones, concluyendo en la necesidad del desarrollo de un sistema dinámico y realista de simulación de deslumbramiento.

Expone el desarrollo y construcción de un prototipo de simulador siguiendo los principios generales para el diseño y seguridad de las máquinas marcados por EN 12100. Es capaz de ofrecer un control sobre distintas variables geométricas, temporales y fotométricas: distancia, velocidad, aceleración, distancia angular, tiempo y frecuencia de exposición, flujo luminoso y por ende iluminancia; sirviendo como instrumento de laboratorio para investigar la afectación en la función visual del deslumbramiento, persiguiendo la consecución de una relación sólida entre test clínicos y el comportamiento real en carretera en condiciones de deslumbramiento.

Palabras clave: Deslumbramiento, Simulador, Dinámico, Máquina, Investigación.

Abstract

This project reports on an investigation of discomfort and disability glare on driving performance, under photopic, mesopic or scotopic conditions, based on recently published studies, analyzing the causes and the effect of various influencing variables and its limitations, concluding the necessity of development of a realistic dynamic system of glare simulation.

It's described the development and construction of a simulator prototype following the general principles for machines design and safety marked by EN 12100, which is able to provide control over various geometric, temporal and photometric variables: distance, motion, acceleration, angular distance, time and frequency of exposure, luminous flux and therefore illuminance. Being serviceable as a laboratory instrument for researching the glare visual affectation, boosting the achievement of a strong relationship between clinical test and real driving performance.

Keywords: Glare, Simulator, Machine, Investigation.

Índice de contenidos

Resumen.....	3
Abstract.....	5
Índice de contenidos.....	7
Índice de ilustraciones.....	9
Índice de tablas.....	13
Índice de símbolos	15
1 Introducción.....	17
1.1 Necesidad del proyecto.....	17
1.2 Objetivos	17
2 Desarrollo.....	19
2.1 Nociones sobre luz y visión.....	19
2.2 Definiciones luminotécnicas.....	21
2.3 Disertación sobre deslumbramiento.....	25
2.4 Problemática a resolver	40
2.5 Estado del arte	41
2.5.1.Sistemas de medida estáticos.....	41
2.5.2 Sistemas de simulación dinámicos	42
2.6 El sistema SIMGLARE.....	48
2.7 Nuevas posibilidades	52
2.8 Diseño de concepto.....	52
2.8.1 Normativa.....	52
2.8.2 Desarrollo de especificaciones y diseño	54
2.8.3 Especificaciones previstas de la máquina	55
2.8.4 Identificación de los límites de la máquina.....	61
2.8.5 Identificación de peligros	63
2.8.6 Elementos del riesgo	64
2.8.7 Reducción del riesgo.....	67
3. Conclusiones.....	75
3.1 Líneas futuras.....	77
Bibliografía.....	79
Anexo 1. Interpretación de la placa de características del motor asíncrono trifásico.....	83
Anexo 2. Variador	87
Anexo 3 Estructura.....	93
Anexo 4. Sistema de Guiado	103
Anexo 5. Transmisión mecánica	107
Anexo 6. Sistema de Iluminación.....	113
Anexo 7 Cuadro Eléctrico, circuitos de potencia y control	125
Anexo 8 Calibración y obtención de curvas voltaje-iluminancia	129

Anexo 9 SIMGLARE Software Application	139
Anexo 10 Información para la utilización	143
Anexo 11 Diseño de las funciones de seguridad ISO 13849-1	145
Anexo 11 Foto galería	149
Anexo 12 Planos.....	153

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 0 Espectro visible por el ojo humano dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas. Horst Frank.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 1 Sensibilidad espectral correspondiente a los tres tipos de conos, y de los bastones. (2).....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 2 Curvas normalizadas de la visión fotópica $V(\lambda)$ y escotópica $V'(\lambda)$. (2).....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 3 Ilustración explicativa de la interrelación de las magnitudes luminotécnicas explicadas previamente. A) Flujo luminoso, b) Intensidad luminosa, c) Iluminancia en un punto, d) Luminancia en un punto. Ilustración de elaboración propia. Imágenes extraídas de (3).....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 4 Ley de la inversa del cuadrado. (1)</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 5 Ley del coseno</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 6 Ilustración esquemática del rango de luminancias de objetos en los que la discriminación es posible para diferentes luminancias de adaptación. (5).....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 7 Índice DeBoer ante a exposición a fuentes de iluminación Halógena o Xenon en función de la iluminancia en escala logarítmica. (5)...</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 8 Índice DeBoer ante a exposición a fuentes de iluminación HID y Halógena en función de la iluminancia. (6).....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 9 Índice DeBoer en función del tiempo de exposición al deslumbramiento. (6).....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 10 Distancia de detección de objetos en función de su retroreflectancia y de la distancia entre objeto y fuente de deslumbramiento. (5).....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 11 Esquematización de la experimentación (4).....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 12 Porcentaje medio de objetos no detectados en condiciones de deslumbramiento en función de la distancia angular a la línea de visión. Se considera objeto no detectado aquel en cuya detección se empelan más de 1000 milisegundos. (4).....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 13 Representación de las situaciones de iluminación de los ensayos de (Vanderlofske, 2005), en los que diferentes iluminancias y tiempos de exposición dan lugar a correspondientes dosis de iluminación. (5).....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 14 Representación de los tiempos de recuperación ante la exposición a una dosis de iluminación determinado en función de la sensibilidad al contraste. (5).....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 15 Influencia del tiempo de exposición en el incremento del tiempo de recuperación al deslumbramiento. Luminancia ambiental: \square 1 cd/cm², Δ 0,32 cd/cm², \circ 0,1 cd/cm². (6).....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 16 Tiempo de recuperación en función del rango de edad. (6)....</i>	<i>40</i>

<i>Ilustración 17 Deslumbrómetro LUM-357. GENERAL ASDE (3).....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 18 a) Representación esquemática del simulador de deslumbramiento de, b) Simulación virtual en combinación con el display led como fuente iluminante. (12) (13).....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 19. IOBA-HAXEM, a) Optotipo Pelli-Robson y fuentes iluminantes LED que caracterizan la fotometría de fuentes iluminantes halógenas y de xenón características del parque móvil europeo UMTRI-2003-37. b) Fuente iluminante para la caracterización de las condiciones mesópicas o fotópicas durante el ensayo.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 20 Iluminancia halógeno vs xenón. (14)</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 21. Curvas Iluminancia-distancia Halógeno. Información suministrada por el IOBA. (14).....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 22. Curvas Iluminancia-distancia en función de la tecnología de iluminación 8 de noviembre. SD, sin deslumbramiento; H, deslumbrante Xenón; DX, deslumbrante halógeno. Información suministrada por el IOBA. (14)</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 23. Curvas Iluminancia Distancia en función de la tecnología de iluminación, 9 de Julio y 8 de noviembre. Información suministrada por el IOBA.</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 24. Curvas iluminancia-distancia, distintos ensayos bajo mismas condiciones en Julio con iluminante Xenón. Información suministrada por el IOBA.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 25 Ciclo de prototipado y producto mínimo viable</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 26 Curva iluminancia distancia. Amplitud y espacio Información suministrada por el IOBA. (14)</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 27 Esquemmatización estrategia de reducción del riesgo en el diseño</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 28. Capacidades principales de SIMGLARE.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 29 Representación esquemática de SIMGLARE. Grafo basado en UNE-EN-ISO 12100:2012. (15) (3) (16) (17)</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 30 Elementos del riesgo. (21) (3). Elaboración propia.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 31 Método de los 3 pasos para la reducción del riesgo según UNE- EN-ISO 12100:2012</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 32 Directrices para la selección de protectores contras los peligros generados por elementos móviles. (21).....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 33 Placa de Características del Motor ABB Motors.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 34 Modelos gama de variadores Altivar 18 y características principales. (25).....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 35 Bornes de Potencia del Variador Altivar 18. (25).....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 36 Disposición de bornes de Potencia del Variador Altivar 18. (25)</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 37 Bornes de Control del Variador Altivar 18. (25).....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 38 Bornes de conexionado del Variador Altivar 18. (25)</i>	<i>89</i>

<i>Ilustración 39 Recta de calibración Velocidad (m/s)-Frecuencia Variador (Hz). Statgraphics.</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 40 Estructura base de SIMGLARE, Inventor</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 41 Uniones fijas ajustables ocultas. (26).....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 42 Regletas de unión. (26).....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 43 Refuerzos de fijación. (26).....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 44 Representación de las uniones al suelo, formadas por pies rotulados de poliamida y refuerzos de fijación, Inventor.</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 45 Representación esquemática de la estructura final de SIMGLARE, Inventor.....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 46 Esquema de barras y nodos, cargas del pórtico. Realizado en Robot Structural Analysis.</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 47 Visualización del diagrama de esfuerzos y la deformada del pórtico resultado del análisis estático lineal realizado con Robot Structural Analysis.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 48 Esquema de barras y nodos, cargas de la estructura lateral. Realizado en Robot Structural Analysis.</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 49 Visualización del diagrama de esfuerzos y la deformada de la estructura lateral resultado del análisis estático lineal realizado con Robot Structural Analysis</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 50 Tensiones, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis de la estructura lateral.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 51 Rodamiento PA 6250 (16).....</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 52 Perfil laminado en frío Standard M (16).....</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 53 Esquematización cargas radial y axial sobre el rodamiento. (16)</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 54 Esquematización sistema de transporte. Synchronous drives for linear motions (28).</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 55 Polea HTD 30 8M 30 TL 1615. (15)</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 56 Ajuste Cónico 1615/25. (15)</i>	<i>111</i>
<i>Ilustración 57 Faro de haz asimétrico para circulación por la derecha. Dimensiones en mm con la pantalla a 25 m de distancia. (30)</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 58 Esquematización distancias y ángulos a escalar en el diseño del simulador.....</i>	<i>116</i>
<i>Ilustración 59. Curva de distribución luminosa, plano C90-270. (17)</i>	<i>117</i>
<i>Ilustración 60 Graficado de los valores de Tabla 13 Iluminancia e Intensidad luminosa en función de la distancia del iluminante Aurora GD10.</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 61 Iluminancia 4 puntos de medida y teórica, del iluminante Aurora GD10.....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 62 Intensidad luminosa 4 puntos de medida y teórica, del iluminante Aurora GD10</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 63. Representación esquemática de la geometría a escalar. Elaboración propia.....</i>	<i>120</i>

Ilustración 64 Ángulo en proyección horizontal en función de la distancia .	121
Ilustración 65 Geometría y dimensiones del Auroa GD10. (17).....	122
Ilustración 66 LED Driver LED 36 CC 700 P240. (31)	123
Ilustración 67 Regresión simple, Iluminancia=f(Distancia), para regulación del driver LED de 1 V.....	130
Ilustración 68 Regresión simple, Iluminancia=f(Distancia), para regulación del driverLED de 10 V.....	130
Ilustración 69 Regresión simple, Iluminancia=f(Voltaje), regulación del driverLED de 1 V.....	132
Ilustración 70 Regresión simple, Iluminancia=f(Voltaje), para regulación del driverLED de 10 V.....	132
Ilustración 71 Curvas iso-lux con SIMGLARE a regulación 5V y 6,5 metros.	135
Ilustración 72. Curvas iso-lux con SIMGLARE a regulación 5V y 6,5 metros.	136
Ilustración 73 Curvas iluminancia distancia, adquiridas en ensayo real (negro) julio 2015 y medida experimentalmente en SIMGLARE, (azul).....	137
Ilustración 74 Calibración PIN10AP.....	138
Ilustración 75 Estructura de flujo de VI's el software LabVIEW. Elaboración propia.	139
Ilustración 76 Captura de pantalla estructura Proyecto LabVIEW	140
Ilustración 77 Captura de pantalla de la interfaz principal de Simglare Software Application	140
Ilustración 78 Captura de pantalla deL diagrama de bloques de la interfaz principal de Simglare Software Application.	141
Ilustración 79 Captura de pantalla de la interfaz subVI's Ensayo Rampa	141
Ilustración 80 Captura de pantalla deL diagrama de bloques del ensayo rampa de Simglare Software Application.	142
Ilustración 81 Flecha indicadora de la posición inicial del sistema de iluminación previo al ensayo.	143
Ilustración 82 Cálculo nivel de prestaciones PLr ISO 13849-1 (32).....	145
Ilustración 83 Diagrama funciones de seguridad	146
Ilustración 84 Nivel de seguridad categoría ISO 13849-1 (32).....	148
Ilustración 85 Fotografía SIMGLARE vista general.....	149
Ilustración 86 Fotografía SIMGLARE vista lateral.....	149
Ilustración 87 Fotografía SIMGLARE vista frontal, sin resguardo.	149
Ilustración 88 Fotografía SIMGLARE vista frontal en perspectiva	150
Ilustración 89 Fotografía SIMGLARE vista de los rodamientos.	150
Ilustración 90 Fotografía SIMGLARE vista eje, poleas y cojinetes sin resguardo.	150
Ilustración 91 Fotografía SIMGLARE vista motor con resguardo	151
Ilustración 92 Fotografía SIMGLARE cuadro eléctrico vistas general e interior.	151
Ilustración 94 Fotografía SIMGLARE zona de mando	151

Índice de tablas

Tabla 1 Escala DeBoer para cuantificar el deslumbramiento molesto. (6)	30
Tabla 2 Criterio Hopkinson para la determinación de la sensación de deslumbramiento molesto. (7)	30
Tabla 3. Conversión escalas GF y GR. (4)	32
Tabla 4 Ejemplo ilustrativo de normativa relativa a la seguridad de las máquinas.	53
Tabla 5 Código colores de advertencias y señalizaciones de seguridad empleadas, según (22)	70
Tabla 6 Dígitos para indicar la clase de protección. (24)	83
Tabla 7 Resultado toma de datos tacómetro digital	92
Tabla 8 Tensiones, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis del pórtico.	98
Tabla 9 Esfuerzos, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis del pórtico.	99
Tabla 10 Detalle de los valores de carga admitidos para el rodamiento PA 6250. (16)	104
Tabla 11 Características polea HTD 30 8M 30 TL 1615. (15)	111
Tabla 12 Máximos y mínimos de flujo luminoso total de todos los módulos LED emisores del haz de cruce principal. (30)	113
Tabla 13 Iluminancia e Intensidad luminosa en función de la distancia	117
Tabla 14 Análisis de la variable iluminancia. Statgraphics.	129
Tabla 15 Análisis de la variable iluminancia para 554 muestras a 5V y 3 m. Statgraphics.	134
Tabla 16 Histograma de valores muestrales obtenidos a 5V y 3m. Ststgraphics.	134
Tabla 17 Resultados cálculo MTTFd de las SRP/CS	147
Tabla 18 Índice para cada MFFTd ISO13849-1 (32)	148

Índice de símbolos

Símbolo	Descripción	Unidad
Φ_e	Flujo radiante	W
Φ	Flujo luminoso	lm
t	Tiempo	s
S	Superficie o área de la sección	m ²
λ	Longitud de onda	m
I	Intensidad luminosa	cd
L	Luminancia	cd.m ⁻²
$L_{adaptación}$	Luminancia de adaptación	cd.m ⁻²
L_B	Luminancia de fondo	cd.m ⁻²
L_O	Luminancia de objeto	cd.m ⁻²
L_v	Luminancia de velo	cd.m ⁻²
L_{ve}	Luminancia de velo equivalente	cd.m ⁻²
C	Contraste de luminancia	
E	Iluminancia	lx
E_{hm}	Iluminancia media horizontal del área	lx
$V(\lambda)$	Eficiencia luminosa espectral para visión fotópica	
$V'(\lambda)$	Eficiencia luminosa espectral para visión escotópica	
K_m	Constante de eficacia luminosa	Lm.w ⁻¹
Q_v	Cantidad de energía lumínica	Lm.s
Ω	Ángulo sólido	sr
θ	Ángulo entre la línea de visión y la línea entre el observador y la fuente	rad
α	Ángulo desde la vertical del plano continente de la fuente y la línea de visión	rad
W	Índice criterio Schmidt-Clausen y Bindels	
UGR	Índice criterio UGR	
UGR_{small}	Índice criterio UGR fuentes pequeñas	
ρ	Índice de Guth	
GR	Índice criterio GR	
P_e	Potencia activa absorbida por la red	W
I_e	Intensidad	A
V_e	Tensión	V
n_1	Velocidad de sincronismo	r.p.m.
n	Velocidad nominal	r.p.m.
f_1	Frecuencia red en el estator	Hz
f_2	Frecuencia red en el rotor	Hz
s	Deslizamiento	
$\cos \varphi$	Factor de potencia	
P	Potencia activa	W
S	Potencia aparente	VA
T_m	Par motor	N.m
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
γ_l	Masa por unidad de longitud perfil acero	Kg/m

p_{pg}	Masa sobre el perfil guía	Kg
q_{pg}	Peso sobre el perfil guía	N
M_z	Momento flector	N.m
y_s	Cota y respecto al centro de gravedad (sección perfil acero)	m
γ_{um}	Masa por unidad de longitud unidad motriz	Kg/m
q_{um}	Peso por unidad de longitud de la unidad motriz	N/m
σ_e	Límite elástico	MPa
σ_{MAX}	Tensión normal máxima	MPa
P_{cri}	Carga crítica de pandeo	N
E	Módulo de Young	N/m ²
I_{40x40}	Momento Inercia perfilería 40x40	m ³
F_{apoyo}	Fuerza sobre el apoyo	N
μ	Coeficiente de rozamiento	
F_u	Fuerza tangencial	N
F_H	Resistencias principales	N
F_S	Resistencias secundarias	N
m_z	Masa polea síncrona	Kg
m_{zred}	Masa polea síncrona reducida	Kg
V	Velocidad periférica de la correa	m/s
B_c	Ancho de la correa	m
t	Espesor de la correa	m
μ_m	Rendimiento del motor a plena carga	
P_A	Potencia accionamiento	W
L	Longitud de la correa	m
D	Diámetro de la polea mayor	m
d	Diámetro de la polea menor	m
C	Distancia entre centros	m
θ_D	Ángulo de contacto de la polea mayor	rad
θ_d	Ángulo de contacto de la polea menor	rad
m_c	Masa de la correa	Kg
γ_c	Masa de la correa por unidad de longitud	Kg
m_T	Masa total del sistema	Kg
$m_{s.ilu}$	Masa del sistema de iluminación	Kg
SRP/CS	Parte de un sistema de mando relativo a la seguridad	
n_{op}	Número de operaciones	ciclos/año
B_{10d}	Número medio de ciclos hasta que el 10% de los componentes falla de manera peligrosa.	ciclos
T_{10d}	Tiempo medio de ciclos hasta que el 10% de los componentes falla de manera peligrosa.	años
$MTTF_d$	Valor probable de la duración media hasta un fallo peligroso	años
PL	Nivel de prestaciones	
PL_r	Nivel de prestaciones requerido	

1.Introducción

1.1. Necesidad del proyecto

El título del proyecto nos ocupa a hablar de simular y medir deslumbramiento a través de nuevas tecnologías de medida que contemplan aspectos dinámicos.

El deslumbramiento causado en el desempeño de la conducción, es un problema de seguridad pública creciente en las últimas décadas.¹

Según tráfico y seguridad vial un 26% de los españoles tiene problemas de visión en el ejercicio de la conducción², a pesar de que muchos de estos problemas bien pueden estar relacionados con una falta de agudeza visual, muchas de las personas encuestadas aquejan de “reflejos y/o cegamientos”. Alrededor de un 6% de personas en España sufren de “hipersensibilidad”, se deslumbran más de lo normal, razón por la cual es importante determinar qué nivel o a partir de qué punto el sujeto es excesivamente sensible al deslumbramiento y se evidencie algún tipo de relación con síntomas patológicos, véase: personas de avanzada edad que presenten enfermedades retínales, degeneración macular, cataratas, tratamientos laser, personas afectadas visualmente por diversos fármacos etc.

Con el fin de comprender en profundidad los motivos que llevan a abordar este proyecto, primero hemos de analizar la situación actual en el campo de la simulación y de la medida de deslumbramiento. Debido a lo específico de la materia que nos ocupa, se hace patente la necesidad de establecer un vocabulario, que nos permita desarrollar la exposición de los conceptos planteados. Con éste motivo, introduciremos de forma extensa nociones sobre iluminación, sobre magnitudes de iluminación, sobre los métodos actuales de simulación de deslumbramiento, así como de los métodos utilizados en la cuantificación del deslumbramiento.

1.2. Objetivos

En base al estudio o revisión bibliográfica de estudios publicados, que tratan el deslumbramiento y los parámetros influyentes, analizando el estado de la técnica en el estudio de la afectación visual del deslumbramiento, se determinarán las razones que motivan la necesidad de experimentar y simular la afectación en la función visual de parámetros relacionados con el deslumbramiento.

¹ (10) (55)

² Según una encuesta del Comisionariado Europeo del Automóvil. (CEA)

Se abordará por tanto el diseño y fabricación del sistema de simulación que permita recrear fidedignamente los parámetros involucrados en el estudio del deslumbramiento, para la posterior evaluación de la influencia de los mismos en el deslumbramiento, tanto perturbador o incapacitante como en el molesto, ya sea en condiciones óptimas de visión como en condiciones afectadas por la edad, la salud visual, lentes, tratamientos, fármacos, etc.

La consecución de dichos objetivos conlleva distintas fases, en las que hay que proyectar, diseñar, construir y validar un instrumento de laboratorio, lo cual introduce objetivos de carácter secundario:

- Diseño, cálculo y construcción de la estructura de la máquina.
- Diseño, cálculo y fabricación y montaje de un sistema de accionamiento de transmisión mecánica.
- Diseño y montaje de un cuadro eléctrico de mando y protección para el accionamiento de la máquina.
- Diseño, cálculo, construcción y calibración de un sistema de iluminación.
- Diseño y programación de un sistema que permita el control del sistema de accionamiento, del sistema de iluminación y que permita mediante adquisición de datos, obtener la iluminancia producida por dicho sistema iluminante.

La consecución de estos objetivos secundarios, conlleva unos objetivos de tercer nivel como pueden ser:

- Búsqueda de proveedores y de posibles alternativas de diseño.
- Gestión del proceso de solicitud de ofertas y posterior compra del material necesario.
- Construcción y montaje del instrumento de laboratorio.
- Calibración de las capacidades del sistema motor y del sistema de iluminación en función de la distancia.

2. Desarrollo

2.1. Nociones sobre luz y visión

Previamente a la exposición del proyecto es imprescindible introducir determinados conceptos sobre iluminación que se emplearán a lo largo del documento.³

El espectro de radiación electromagnética está comprendido por diferentes tipos de ondas definidas por una magnitud como la longitud de onda λ o la frecuencia f , abarcando alrededor de 20 órdenes de magnitud en longitudes de onda, desde 10^{-14} m de los rayos cósmicos, pasando por rayos gamma, infrarrojos, hasta los 10^5 m de las ondas de radio, etc.

Englobada por la radiometría, que se define como la ciencia de la medida de la energía radiante, se encuentra la fotometría, que es la ciencia de las medidas de la energía radiante óptica, cuya característica diferencial es que se incorpora el ojo humano como receptor, pudiendo ser equivalente el uso de detectores con capacidad de representación fidedigna de las características fundamentales.

La luz, que se refiere a la zona del espectro electromagnético cuya radiación excita los fotoreceptores de la retina humana, es emitida en el rango comprendido entre los 380nm y los 770nm de longitud de onda.



Ilustración 0 Espectro visible por el ojo humano dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas. Horst Frank.

El órgano de visión humano ofrece distintas respuestas ante distintas radiaciones monocromáticas de iguales niveles energéticos debido a la

³ Las nociones de iluminación expuestas en el presente título, han sido obtenidas parcialmente de (1)

diferencia espectral entre ellas. Por tanto, es necesario emplear una función de peso para una correcta evaluación de la radiación espectral de una onda.

Esta función de peso se ha dividido en dos, una función relativa y una función constante.

La función relativa varía en función de la diferencia en la respuesta a la radiación de los distintos foto receptores de la retina del órgano de visión humana, que pueden ser de dos tipos, conos y bastones.

Los bastones tienen una mayor sensibilidad que los conos, dan respuesta cuando la luminancia es inferior a algunas centésimas de candela por metro cuadrado y saturan cuando ésta aumenta, situación denominada visión escotópica, el momento en el que la cantidad de luz es de al menos varias candelas por metro cuadrado, o visión fotópica los fotoreceptores activos son los conos, a las situaciones de luminosidad intermedia se les denomina visión mesópica.

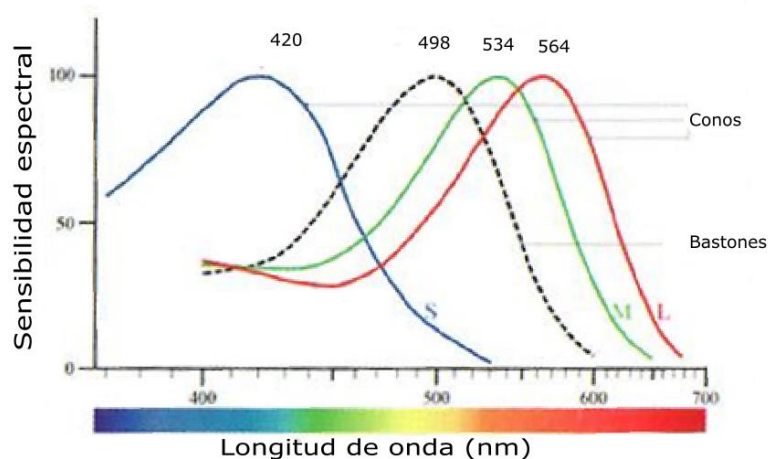


Ilustración 1 Sensibilidad espectral correspondiente a los tres tipos de conos, y de los bastones. (2)

La función relativa es la eficiencia espectral luminosa, diferenciándose $V(\lambda)$ en caso de visión fotópica con máximo en los 555 nm de longitud de onda y $V'(\lambda)$ en el caso de visión escotópica con máximo en 490 nm. Estos valores fueron acordados por la CIE en 1924 y 1951 respectivamente.

La función constante se denomina eficacia luminosa K_m y se determina por el cociente entre el flujo luminoso y el flujo radiante para una determinada radiación monocromática determinada por la frecuencia de 540×10^{12} Hz. Toma un valor de $683 \text{ l} \cdot \text{w}^{-1}$. Estos valores fueron acordados por la CIE en 1979.

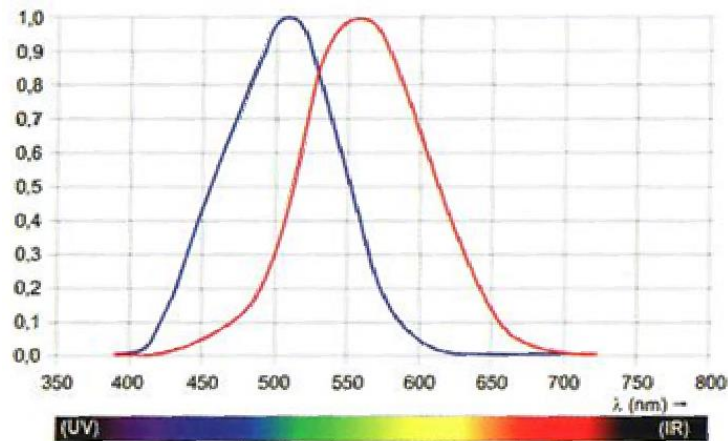


Ilustración 2 Curvas normalizadas de la visión fotópica $V(\lambda)$ y escotópica $V'(\lambda)$. (2)

Las curvas de eficiencia luminosa, se emplean como una función de peso en los cálculos fotométricos, proporcionando una buena aproximación numérica a la sensación visual producida por una determinada distribución espectral de energía.

Elimina por tanto la influencia del observador real que realiza las medidas, existiendo circunstancias en las que no otorga resultados precisos.

2.2. Definiciones luminotécnicas⁴

Teniendo en cuenta las nociones expuestas en el apartado previo, se definen a continuación diversos conceptos y definiciones que se usarán recurrentemente a lo largo del documento.

Magnitudes propias de las fuentes de luz

Flujo luminoso

Expresa la cantidad de energía emitida por segundo, por una fuente de luz, ponderada respecto a la sensibilidad espectral del ojo humano.

Otra forma de definir flujo luminoso es la cantidad de luz total radiada en todas las direcciones por una fuente luminosa durante la unidad de tiempo, y su unidad medida es el lumen.

El lumen, se define a su vez como el flujo luminoso emitido en un estereorradián por un manantial de luz puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de una candela.

$$\Phi = \frac{Q_v}{t}$$

Ecuación 1

⁴ Definiciones extraídas de (1)

Intensidad luminosa: (de una fuente en una dirección dada).

Cociente entre el flujo luminoso Φ procedente de la fuente propagándose en el elemento Ω de ángulo sólido que contiene la dirección dada, y el elemento de ángulo sólido.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Ecuación 2

Su unidad es la candela.

La intensidad luminosa representa la forma en la que se distribuye la luz.

Luminancia (según una dirección dada y en un punto determinado de una superficie real o ficticia).

Magnitud correspondiente a la luz que percibe el observador, queda definida por la fórmula:

$$L = \frac{\Phi}{\Omega \cdot \cos\theta \cdot S}$$

Ecuación 3

Donde Φ es el flujo luminoso transmitido por un haz elemental que pasa por el punto dado y se propaga según un ángulo sólido Ω que contiene a la dirección dada; S es el área de una sección de éste haz que incluye éste punto; θ es el ángulo formado por la normal a esa sección y la dirección del haz.

Su unidad es la candela entre metro cuadrado.

La luminancia representa la densidad de luz de las superficies luminosas.

Magnitudes propias del objeto iluminado

Iluminancia (en un punto de una superficie)

Cociente entre el flujo luminoso Φ incidente sobre un elemento de la superficie que contiene al punto y el área S de ese elemento.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Ecuación 4

Su unidad es el lux.

Es la magnitud más importante del objeto o medio iluminado.

Con el fin de ilustrar la interrelación y las diferencias entre los parámetros fotométricos descritos previamente, flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia, se emplea la figura que sigue.

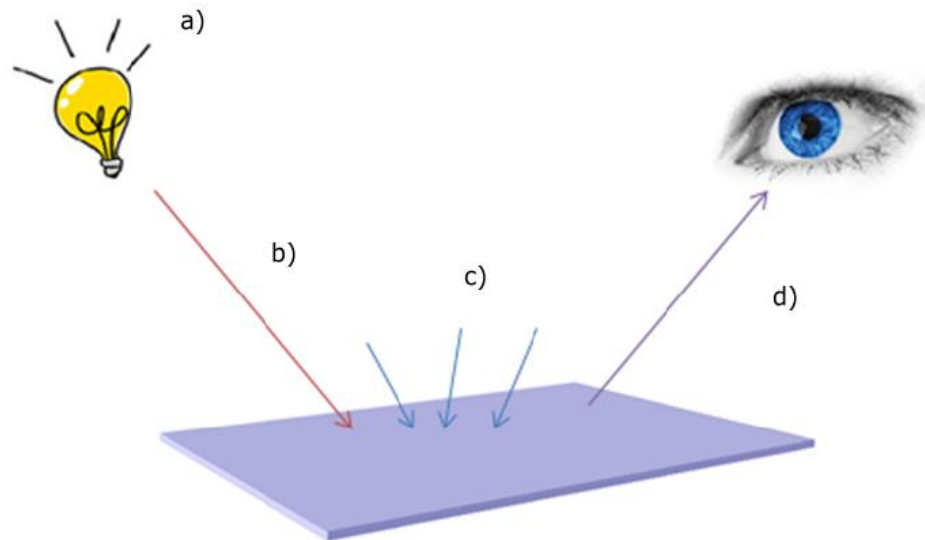


Ilustración 3 Ilustración explicativa de la interrelación de las magnitudes luminotécnicas explicadas previamente. A) Flujo luminoso, b) Intensidad luminosa, c) Iluminancia en un punto, d) Luminancia en un punto. Ilustración de elaboración propia. Imágenes extraídas de (3)

Otras definiciones

Luminancia de adaptación

La luminancia de adaptación se define con la suma de la luminancia de velo (Ecuación 9) y la luminancia de fondo, se expresa en cd/m^2 .

$$L_{adaptación} = L_B + \sum_{i=1}^n L_i$$

Ecuación 5

Deslumbramiento

Condición de visión en la que hay una molestia o reducción en la aptitud para distinguir detalles u objetos, debida a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancia o a contrastes excesivos.

Las definiciones expuestas describen los parámetros fotométricos que son la base de los estudios y de las mediciones realizadas.

Leyes fundamentales en fotometría⁵

Ley de la inversa de cuadrado de la distancia

Establece que la iluminancia en un punto de una superficie dada, varía directamente con la intensidad luminosa de la fuente iluminante, e inversamente con el cuadrado de la distancia entre la fuente iluminante y el punto.

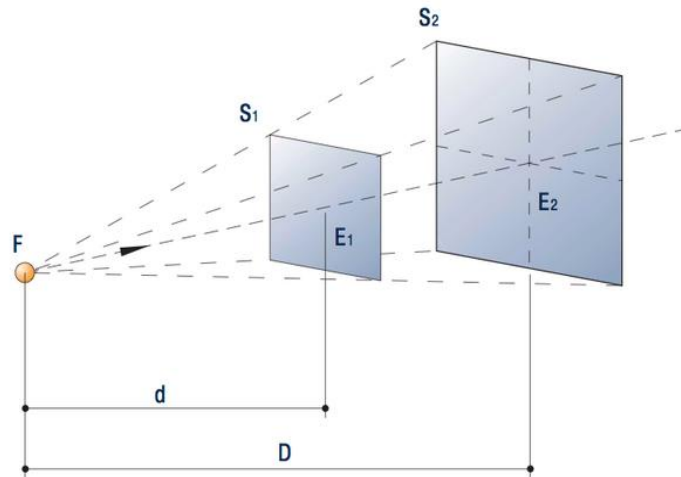


Ilustración 4 Ley de la inversa del cuadrado. (1)

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Ecuación 6

La validez de la ley de la inversa de los cuadrados queda delimitada tanto en cuanto la fuente iluminante se considere una fuente puntual, esto es cuando la distancia es al menos cinco veces la dimensión máxima de la fuente iluminante.

Ley del coseno

Establece que la iluminancia sobre una superficie varía con el coseno del ángulo de incidencia.

Siendo θ el ángulo entre el rayo incidente y la normal a la superficie, la iluminancia será:

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos\theta$$

Ecuación 7

⁵ Leyes básicas de la fotometría, e interrelación entre las magnitudes fundamentales, obtenido de (1 pág. 170)

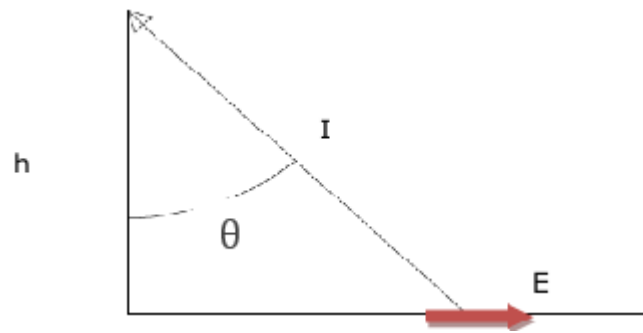


Ilustración 5 Ley del coseno

Ley del cubo del coseno

Se trata de una extensión de la ley del coseno, en la que se sustituye la distancia 'd' por la distancia perpendicular al plano de la superficie iluminada.

$$E = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \theta$$

Ecuación 8

2.3. Disertación sobre deslumbramiento

El sistema de visión humano puede procesar información en un rango de doce unidades logarítmicas de luminancia, sin embargo, simultáneamente solo puede operar cubriendo un rango de tres unidades logarítmicas.

Se produce, por tanto, un autoajuste continuo a las condiciones lumínicas predominantes, reduciendo la sensibilidad y aumentando la discriminación en condiciones de luminosidad elevada o visión fotópica, y de manera opuesta, aumentando la sensibilidad y reduciendo la discriminación en condiciones de luminosidad adversa o mesópica/escotópica. (4).

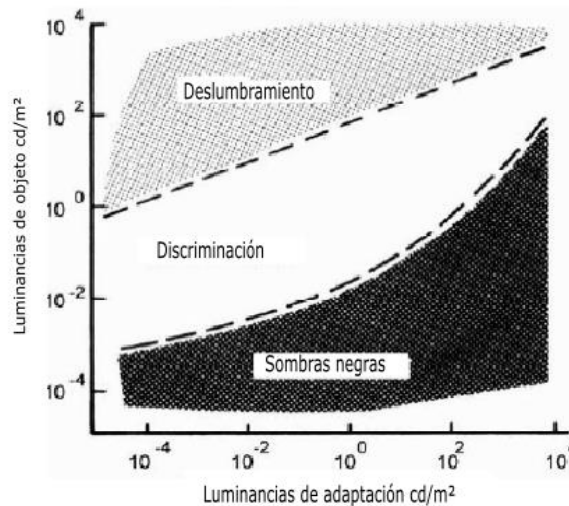


Ilustración 6 Ilustración esquemática del rango de luminancias de objetos en los que la discriminación es posible para diferentes luminancias de adaptación. (5)

Dada una luminancia para la que el sistema visual está adaptado, luminancias superiores, se perciben como deslumbrantes, mientras que luminancias inferiores son percibidas como sombras negras. Dicho de otra forma, una misma luminancia puede ser percibida como deslumbrante, confortable u oscura en función del estado de adaptación del sistema visual en el momento en el que se percibe dicha luminancia.

El fenómeno de deslumbramiento se ha clasificado en ocho formas diferentes (5), de las cuales cuatro ocurren excepcionalmente, y no tienen lugar en situaciones de conducción, por lo que no se ahondará en su discusión, son:

- a.** Ceguera temporal debido al destello (flash blindness).
- b.** Deslumbramiento paralizante (paralysing glare).
- c.** Daño retinal debido a deslumbramiento.
- d.** Deslumbramiento distractor.

Las otras cuatro formas de deslumbramiento son comúnmente experimentadas durante la conducción, son:

- e.** Deslumbramiento por saturación, tiene lugar cuando una luminancia superior a la luminancia de adaptación es percibida por una parte mayoritaria del campo visual durante un tiempo largo.
- f.** Deslumbramiento de adaptación, ocurre cuando el sistema visual en su totalidad, es expuesto repentinamente a una luminancia creciente de valor superior a la luminancia de adaptación, situación observable habitualmente en conducción en la salida de túneles.

g. Deslumbramiento molesto, causa un discomfort visual, sin afectar en principio a la capacidad de visión.

Tiene un carácter cerebral, su efecto sobre el sistema visual ha sido estudiado y es cuantificable mediante procedimientos psicofísicos convencionales, es asociado a un plausible mecanismo denominado dispersión de luz en el ojo, “scattering light”. Sin embargo, no se conoce causa que lo origina, siendo las fluctuaciones en el tamaño pupilar la causa estudiada más probable.

El deslumbramiento molesto es causante de fatiga visual y de dolores de cabeza, pudiendo la fatiga visual reducir la capacidad visual.

h. Deslumbramiento incapacitante o perturbador, incapacita el sistema visual hasta cierto punto, sin implicar necesariamente una sensación desagradable. Tiene asociado un carácter foveal. Su origen se asocia al mecanismo de velo, que se debe a la dispersión de la luz en la córnea, cristalino y demás medios intraoculares. La luz dispersa en el ojo, forma un velo luminoso sobre la imagen retinal de la escena observada, reduciendo la sensibilidad al contraste de las partes de la escena afectada.

Puede deberse a fuentes de luminancia puntuales o de área, como pueden los faros de un vehículo aproximándose o la luminancia de un cartel retro reflectante.

Los deslumbramientos molesto y perturbador, son los acaecidos con mayor frecuencia, y su estudio es causa de la realización de éste proyecto.

Cuantificación de deslumbramiento

Existe una formulación específica para cuantificar el deslumbramiento en función de si este es clasificado como deslumbramiento molesto o perturbador.

Deslumbramiento perturbador

El deslumbramiento perturbador causado por una fuente iluminante es cuantificado comparando el umbral de luminancia de un objeto percibido en un ambiente con presencia de dicha fuente iluminante, con la visibilidad del mismo objeto percibido mientras se somete al ojo a una determinada luminancia de velo uniforme.

Si la visibilidad del objeto es la misma en ambas situaciones, se determina que la luminancia de velo es una medida de la cantidad de deslumbramiento producida por la fuente iluminante.

Existen numerosos estudios⁶ empíricos para determinar una formulación que prediga la luminancia de velo equivalente a la de una determinada fuente

⁶ Información extraída (5)

iluminante (Holladay 1926; Stiles 1930; Stiles y Crawford 1937). En base éstos estudios, se desarrolló una formulación⁷ predictiva de la luminancia de velo equivalente de una fuente iluminante, que depende de diferentes parámetros, propios de la luminaria y de la situación espacial de la luminaria respecto del observador.

$$L_v = K \cdot \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2}$$

Ecuación 9

Siendo:

K.- Una constante dependiente fundamentalmente de la edad del observador, aunque variable, se le otorga un valor de 10 si los ángulos se expresan en grados o de $3 \cdot 10^{-3}$ si se expresan en radianes.

E_i . - Iluminancia de la i-ésima fuente, medida en lux tomada sobre la pupila en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador

θ_i . - Ángulo entre el centro de la i-ésima fuente deslumbrante y la línea de visión.

La validez de ésta formulación tiene limitaciones, es válida si se aplica para deslumbramiento producido por fuentes puntuales, pero para fuentes de área es necesario descomponerlo en pequeños elementos e integrar el efecto general.

Adicionalmente, la fórmula de la equivalencia de la luminancia de velo es aplicable para fuentes iluminantes cuyo ángulo respecto a la línea de visión θ , esté comprendido entre 1° y 30° .

La edad del observador influye en el sentido de que su pupila absorbe y dispersa la luz en mayor medida que un observador más joven, debido a lo cual el CIE ha desarrollado una formulación⁸ que contempla como parámetro la edad del observador manteniendo el rango angular θ de 1° a 30° .

$$L_v = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K \cdot E_{ni}}{\theta_i^3} + \left(1 + \left(\frac{A}{62.5} \right)^4 \right) \cdot 5 \cdot \frac{E_i}{\theta_i^2} \right)$$

Ecuación 10

Es importante destacar que la formulación expuesta previamente para obtener una estimación de la luminancia de velo equivalente para una fuente de iluminación, ya sea en su forma simple o desarrollada, el único parámetro fotométrico involucrado es la iluminancia sobre la pupila, obviando el espectro

^{7,8} Formulación extraída (51)

de la luz y el tamaño de la fuente. Sobre ésta consideración se tratará en otro apartado.

El impacto del deslumbramiento perturbador, o de la luminancia de velo en el contraste de luminancia de un objeto, supone una reducción en dicho contraste de luminancia, matemáticamente se expresa como sigue

$$C = \frac{(L_B + L_V) - (L_O + L_V)}{(L_B + L_V) + (L_O + L_V)} = \frac{(L_B - L_O)}{(L_B + L_O + 2L_V)}$$

Ecuación 11

Siendo:

C . - Contraste de luminancia

L_B . -Máxima luminancia, luminancia de fondo, expresada en cd/m^2 .

L_O . -Mínima luminancia, luminancia de objeto, expresada en cd/m^2 .

L_V . -Luminancia de velo, expresada en cd/m^2 .

Deslumbramiento molesto

Método Schmidt-Clausen y Bindels

Existen diversas formulaciones empíricas para cuantificar el deslumbramiento molesto. Schmidt-Clausen y Bindels desarrollaron en 1974 un método computacional⁹ para cuantificar el deslumbramiento molesto en situaciones de ambiente exterior para fuentes iluminantes que se aproximan.

El método tiene en cuenta los siguientes parámetros de los cuales solo dos son fotométricos:

E .- Iluminancia, medida en lux tomada sobre la pupila en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador

L .- Luminancia de adaptación en cd/m^2

θ .- Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión.

$$W = 5 - 2 \log \left(\frac{E}{0,02 \left(1 + \sqrt{\frac{L_{adaptación}}{0,04}} \right) \cdot \theta^{0,46}} \right)$$

Ecuación 12

Se cuantifica mediante la escala numeral de DeBoer, numerada del 1 al 9, con 5 valores diferenciales. Se consideran molestos valores iguales o inferiores a 4.

⁹ Estudio extraído de (43)

Escala DeBoer	
Ratio	Calificación
1	Insoportable
2	
3	Perturbador
4	
5	Aceptable
6	
7	Satisfactorio
8	
9	Imperceptible

Tabla 1 Escala DeBoer para cuantificar el deslumbramiento molesto. (6)

Criterio UGR

El criterio UGR ideado por Sorensen en 1987 y adoptado posteriormente por la Comisión Internacional de Iluminación propone un índice, denominado unified glare rating, para cuantificar la sensación de deslumbramiento molesto.

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_B} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \omega_i}{\rho_i^2} \right)$$

Ecuación 13

Siendo:

L_B . - Luminancia de fondo, expresada en cd/m^2

L_i . -Luminancia de la i-ésima fuente, medida en cd/m^2 y tomada sobre la pupila en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador

ω_i . - Tamaño aparente de cada luminaria en estereorradianes

ρ_i . - Índice de Guth de posición angular de cada luminaria.

$$\rho = e^{\left[\left(35,2 - 0,31889\alpha - 1,22e^{-\frac{2\alpha}{9}} \right) 10^{-3}\theta + (21 + 0,26667\alpha - 0,0029663\alpha^2) 10^{-5}\theta \right]}$$

Ecuación 14

Criterio Hopkinson	
Ratio	Calificación
10	Imperceptible
13	Apenas perceptible
16	Perceptible
19	Apenas aceptable
22	Inaceptable
25	Apenas molesto
28	Molesto

Tabla 2 Criterio Hopkinson para la determinación de la sensación de deslumbramiento molesto. (7)

La relación entre las unidades UGR y los valores del criterio de Hopkinson es que tres unidades UGR corresponden a un nivel del criterio de Hopkinson. (8).

El método UGR se determinó en origen para predecir la sensación de deslumbramiento de todas las luminarias con influencia en el campo de visión del observador, considerando que cada luminaria es una fuente de luz uniforme con un ángulo sólido determinado. Para fuentes de iluminación pequeñas, la CIE¹⁰ ha desarrollado una formulación alternativa en la que como parámetro fotométrico influye la intensidad luminosa de la fuente en vez de la luminancia.

$$UGR_{small} = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_B} \sum_{i=1}^n \frac{I_i^2}{r_i^2 \rho_i^2} \right)$$

Ecuación 15

Siendo:

L_B .- Luminancia de fondo en cd/m^2

I_i .- Iluminancia de la i-ésima fuente, medida en lux y tomada sobre la pupila en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador

r_i .- Distancia del ojo a la luminaria i-ésima

ρ_i .- Índice de Guth de posición angular la luminaria i-esima.

Con la Ecuación 15 se obtiene el índice UGR de una luminaria no uniforme, como son las luminarias formadas por LED de potencia.

Criterio GR

El criterio GR (Glare Rating), reflejado en la norma CIE 112:94, propone una formulación empírica en la que intervienen como parámetros:

$$GR = 27 + 24 \log \frac{L_v}{L_{ve}^{0,9}}$$

Ecuación 16

L_{vi} .- Luminancia de velo debida a la i-ésima luminaria, expresada en cd/m^2

L_{ve} .- Luminancia de velo equivalente debida al entorno, expresada en cd/m^2

La luminancia de velo equivalente producida por el entorno, se define considerando que la reflexión del entorno es totalmente difusa, se expresa mediante la ecuación:

$$L_{ve} = \frac{0,035 \cdot r \cdot E_{hm}}{\pi}$$

Ecuación 17

Siendo:

r .- Coeficiente de reflexión medio del área.

E_{hm} .- Iluminancia media horizontal del área.

¹⁰ (1)

Glare Control Mark GF		Glare Rating GR
1	Insoportable	90
2		80
3	Molesto	70
4		60
5	Apenas aceptable	50
6		40
7	Perceptible	30
8		20
9	Imperceptible	10

Tabla 3. Conversión escalas GF y GR. (4)

Se cuantifica mediante una escala empírica, se establece una marca de deslumbramiento, en una escala numeral del 1 al 9, correspondiente a diferentes niveles de sensación de deslumbramiento.

La conversión de ésta escala con el valor predictivo de la ecuación (7), se hace mediante la ecuación (8)

$$GR = (10 - GF) \cdot 10$$

Ecuación 18

Los métodos para cuantificar la sensación de deslumbramiento molesto expuestos anteriormente, Schmitdt-Clausen and Bindels, UGR, UGR_{small}, GR, emplean en su formulación parámetros fotométricos como la iluminancia de la fuente, la luminancia en la pupila debida a la fuente, la luminancia de fondo y parámetros no fotométricos como la distancia angular entre la fuente y la línea de visión.

Estos métodos presentan limitaciones en la utilidad o en el propio cálculo de la sensación de deslumbramiento molesto, como son: índices tendiendo a infinito cuando la distancia angular entre la fuente de deslumbramiento y la línea de visión tiende a 90°; el hecho de que haya que especificar una distancia angular concreta los convierten en útiles para cuantificar el deslumbramiento en situaciones de conducción nocturna, donde la línea de visión del conductor se presupone fija y con un ángulo determinado de 0°, lo que lo convierte en métodos favorables para cuantificar el deslumbramiento en los casos que enmarcan el proyecto.

Situaciones en las que un viandante perciba fuentes de luz deslumbrante en diversas direcciones como que la línea de visión no intercepte a la luminaria porque el sujeto camine en dirección contraria no son contempladas dentro de las posibilidades de la formulación expuesta. Es por ésta razón, que se han desarrollado métodos alternativos (9) que si lo contemplen.

Discomfort Glare Model Extension

El estudio contempla la inclusión en la formulación de parámetros fotométricos variables como:

- E_L . - Iluminancia de la fuente de luz deslumbrante, expresada en lux.
- E_S . - Iluminancia del área que rodea a la fuente, expresada en lux.
- E_A . - Iluminancia ambiente, expresada en lux.
- L_L . - Luminancia de la fuente, expresada en cd/m^2 .

La sensación de deslumbramiento molesto se cuantificó empíricamente mediante la escala de DeBoer. Del estudio se extrajo que el parámetro fotométrico iluminancia influye en mayor medida en la percepción del deslumbramiento molesto que la luminancia. Se determinó la ecuación empírica que sigue:

$$DG = \log(E_L + E_S) + \log\left(\frac{E_L}{E_S}\right) - 0,5\log(E_A)$$

Ecuación 19

Para obtener la correspondencia de valores entre lo obtenido en la Ecuación 19 y la escala de DeBoer, se emplea la Ecuación 20:

$$DB = 6,6 - 6,4\log(DG)$$

Ecuación 20

Si el tamaño de la fuente de luz deslumbrante tiene un tamaño tal que el ángulo subtendido respecto al ojo es superior a $0,3^\circ$, se le ha de aplicar un factor correctivo (10) a la Ecuación 21, resultando:

$$DB = 6,6 - 6,4\log(DG) + 1,4\log\left(\frac{50000}{L_L}\right)$$

Ecuación 21

Los métodos empíricos descritos previamente para cuantificar el deslumbramiento, tanto molesto como perturbador, tienen en cuenta recurrentemente en su formulación parámetros fotométricos como la iluminancia sobre la pupila, la luminancia de la fuente sobre la pupila, la luminancia de fondo, la luminancia de adaptación, además de parámetros estrictamente geométricos, físicos o ambientales, como son la distancia angular entre la fuente de iluminación y la línea de visión, la edad y el tamaño aparente de la fuente.

Se tiene constancia de que otros parámetros, fotométricos o físico-ambientales contribuyen o afectan en algún modo a la función visual y al deslumbramiento (6), como son: la distribución del espectro electromagnético, el tiempo de exposición, condiciones ambientales, la retroreflectancia del objeto a detectar, la salud visual, en ésta última se engloban diversos factores de afectación, los cuales han resultado determinantes para la motivación a la realización de éste trabajo, son la utilización de lentes, lentes intraoculares, tratamientos laser y fármacos.

La **distribución de energía espectral** SPD influye el deslumbramiento, para iluminancias equivalentes; fuentes deslumbrantes con mayor energía para una determinada longitud de onda, incrementan el deslumbramiento molesto, fuentes deslumbrantes con energías de radiación similares causan deslumbramientos mayores para longitudes de onda cortas. Sin embargo, tiene un efecto limitado o despreciable en el deslumbramiento perturbador, dado que tiene un carácter foveal para el que se ha demostrado que fuentes con el mismo nivel de iluminancia causan efectos similares. (5) y (4).

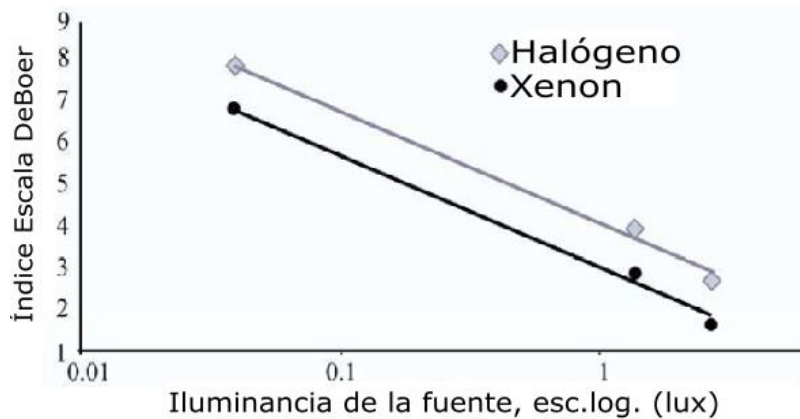


Ilustración 7 Índice DeBoer ante a exposición a fuentes de iluminación Halógena o Xenon en función de la iluminancia en escala logarítmica. (5)

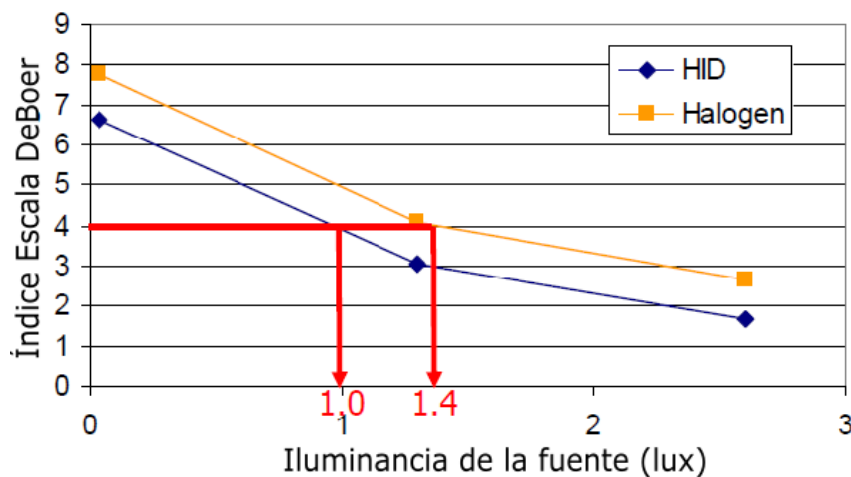


Ilustración 8 Índice DeBoer ante a exposición a fuentes de iluminación HID y Halógena en función de la iluminancia. (6)

Para un mismo índice de deslumbramiento molesto según la escala DeBoer, fuentes de iluminación Halógenas presentan una iluminancia en lux un 40% mayor que lámparas de descarga de alta intensidad. (6)

Explicado de manera inversa, mismos niveles de iluminancia implican mayores niveles de deslumbramiento en lámparas halógenas que en lámparas de descarga.

La **duración temporal de la exposición** al deslumbramiento supone un incremento de la sensación de deslumbramiento.

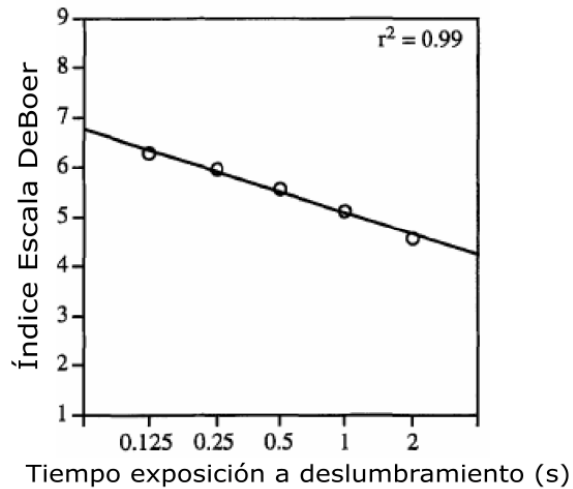


Ilustración 9 Índice DeBoer en función del tiempo de exposición al deslumbramiento. (6)

La dificultad de detección de un objeto está directamente relacionada con el deslumbramiento perturbador por la reducción del contraste de luminancia, Ecuación 11. Según (5), la visibilidad de objetos depende de la iluminancia de la fuente, de la distancia relativa entre observador y fuente, la morfología del objeto y sus características físicas. Del caso de estudio citado a continuación, se desprende que la **distancia** de detección de dos objetos, 1 y 2 con distinta **retroreflectancia** 0,54 y 0,12 respectivamente, depende de la distancia de proximidad entre observador y objeto, disminuyendo en función de que esta disminuya, aumentando rápidamente justo antes de que la distancia sea 0 metros.

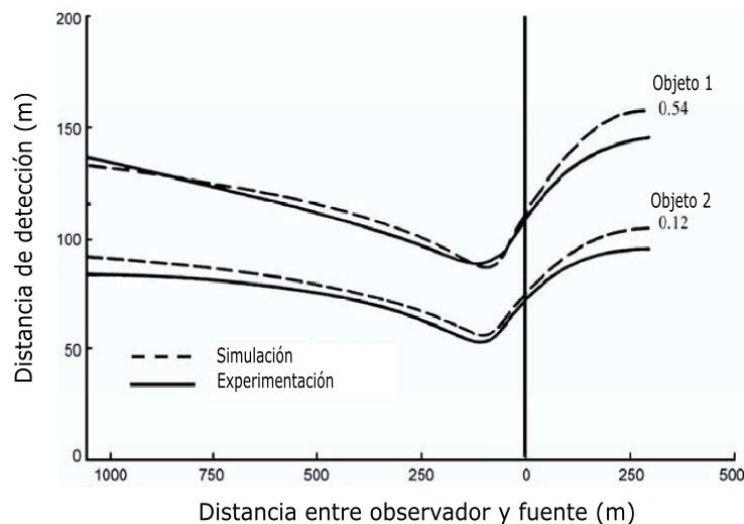


Ilustración 10 Distancia de detección de objetos en función de su retroreflectancia y de la distancia entre objeto y fuente de deslumbramiento. (5)

Es de suma importancia incluir en este momento de la exposición que la luminancia de velo, que responde a las ecuaciones Ecuación 9 y Ecuación 10

predice el impacto de deslumbramiento perturbador en la visión fovea, pero no en la visión periférica, la formulación propuesta por los métodos incluidos en éste trabajo no son válidos para la cuantificación de deslumbramiento cuando se trata de detectar **objetos periféricos**.

La asertación anterior, queda demostrada en los estudios de (4), en el que, entre otros, estudiaron la influencia de la iluminancia manteniéndose invariantes el espectro y tamaño de la fuente y la posición angular de objetos respecto a la línea de visión.

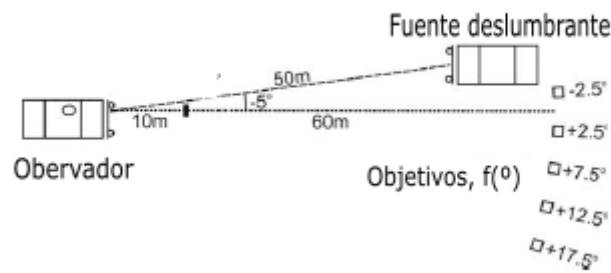


Ilustración 11 Esquematzación de la experimentación (4)

La Ilustración 11 muestra el porcentaje de objetos no detectados en el conjunto de todos los ensayos, en función de la distancia angular respecto de la línea de visión del observador. Se demuestra que el efecto de la localización de un objeto influye en su detección en condiciones de deslumbramiento, al ser los objetos; más cercano a la fuente $-2,5^\circ$ por proximidad y los más alejados $12,5^\circ$ y $17,5^\circ$ por la mayor distancia angular los separa de la línea de visión. Las curvas NG-H y NG-L, son predicciones de objetivos no detectados en condiciones de no deslumbramiento, cuya consideración no es necesaria en éste apartado.

Resalta también, como la figura 7, que la retroreflectancia y de un objeto, y la iluminancia a la que es sometido, influyen de forma determinante en su detección en condiciones de deslumbramiento. Los objetos con alta reflectancia, remarcados con una 'H', sometidos a una determinada iluminancia, de 0,2, 1 o 5 lux tienen un menor porcentaje de no detecciones que objetos sometidos a la misma iluminancia, pero una retroreflectancia menor, 'L'.

Queda expuesto también, que objetos sometidos a una iluminancia menor, tienen un porcentaje de no detección mayor a los que son sometidos a mayores iluminancias, lo que es explicable debido a que una iluminancia menor supone un menor contraste de luminancia según la Ecuación 11.

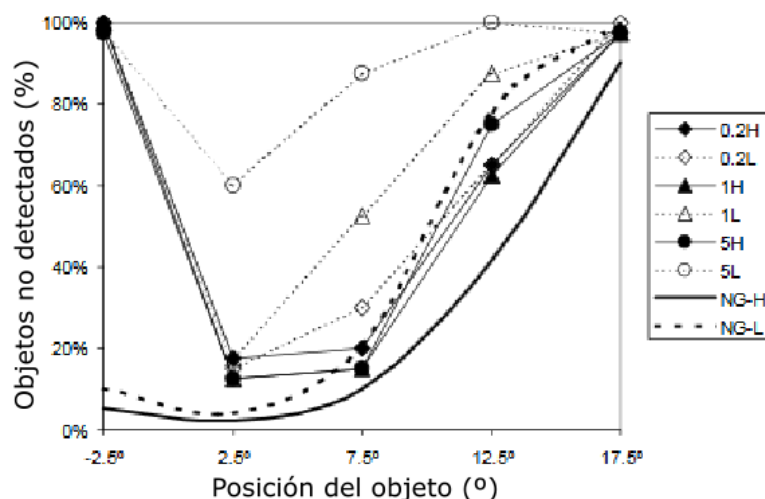


Ilustración 12 Porcentaje medio de objetos no detectados en condiciones de deslumbramiento en función de la distancia angular a la línea de visión. Se considera objeto no detectado aquel en cuya detección se emplean más de 1000 milisegundos. (4)

En éste punto de la exposición, hay que destacar que se ha disertado acerca de que parámetros tienen influencia en la percepción de deslumbramiento, algunas directamente relacionadas con la fuente de deslumbramiento; la iluminancia de la fuente sobre el objeto, la distancia angular entre la fuente y la línea de visión, el tamaño de la fuente, la distribución de energía espectral (SPD), el tiempo de exposición, otros parámetros relacionados con el entorno como las condiciones ambientales de luminancia, la retroreflectancia de los objetos y finalmente parámetros relacionados con el individuo como la edad o la salud visual.

Es necesario también estudiar parámetros que no están directamente relacionados con la generación de deslumbramiento, si no que tienen su influencia durante el deslumbramiento.

La sensación de no comodidad o la molestia causada en por situación de deslumbramiento, disminuye inmediatamente en el momento en el que la fuente deslumbrante cesa su influencia, debido a que no hay luz dispersa en el cristalino.

Sin embargo, pese al cese de la situación de deslumbramiento, la función visual del individuo no recobra su operatividad a niveles previos a la situación de deslumbramiento inmediatamente, sino que existe un tiempo de recuperación para relajar el estímulo de los músculos ciliares.

El exceso de excitación, afectado por iluminancia al que se somete a los fotoreceptores de la retina del individuo, origina un estado de saturación, que influye en su capacidad de adaptación a un posterior nivel de excitación, existe un rango de tiempo en el que la función visual está readaptándose a unas nuevas condiciones de excitación, tiempo al que en adelante el texto se referirá como tiempo de recuperación al deslumbramiento.

El tiempo de recuperación se ve afectado por factores tales como la iluminancia tanto de la fuente como la ambiente y el tiempo de exposición.

Diversos investigadores han expuesto sus resultados en los que se demuestra la dependencia del tiempo de recuperación al deslumbramiento con los parámetros anteriormente citados.

Van Derlofske (5), expuso su experimentación, en la que sometió a individuos a cuatro situaciones de deslumbramiento diferentes, en las que varió la iluminancia de la fuente y el tiempo de exposición, lo que supone la inclusión de un parámetro combinado, la dosis de iluminación, que es el producto de iluminancia por tiempo de exposición, medido en lux por segundo. Tras el estímulo de la función visual del individuo en cada uno de los ensayos, se le sometió a una prueba de sensibilidad al contraste. El resultado de la experimentación queda representado en la Ilustración 13 y la Ilustración 14.

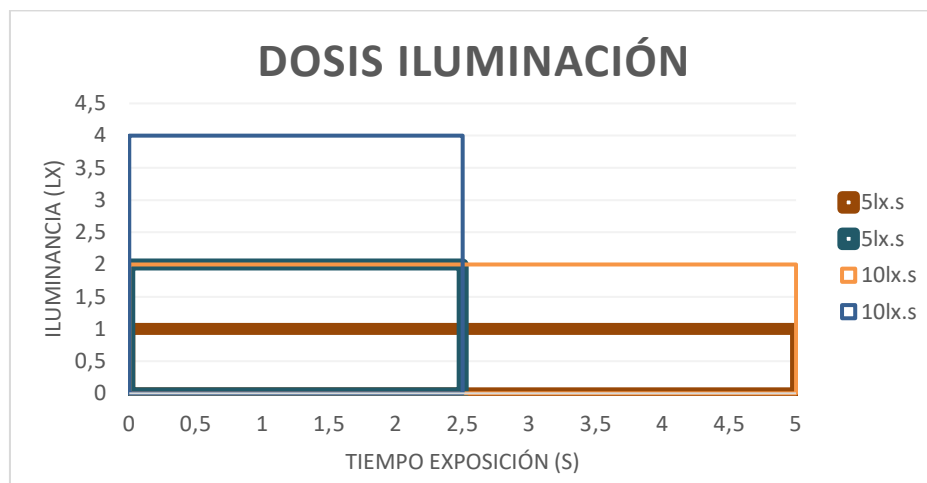


Ilustración 13 Representación de las situaciones de iluminación de los ensayos de (Vanderlofske, 2005), en los que diferentes iluminancias y tiempos de exposición dan lugar a correspondientes dosis de iluminación. (5).

La Ilustración 13 muestra los tiempos de recuperación para diferentes estímulos de dosis de iluminación. La Ilustración 14 muestra el tiempo de recuperación de individuo obtenido mediante la detección de un objeto con un contraste umbral determinado previamente para el individuo.

Es inmediato concluir que los tiempos de recuperación son menores para una mayor sensibilidad al contraste y es dependiente de la dosis de iluminación, y no del tiempo de exposición y de los niveles de iluminancia. Sin embargo, los índices de deslumbramiento según la escala DeBoer que reportaron los pacientes, estuvieron condicionados por el nivel de iluminancia y no de la dosis, no se incluye figura que describa esta relación.

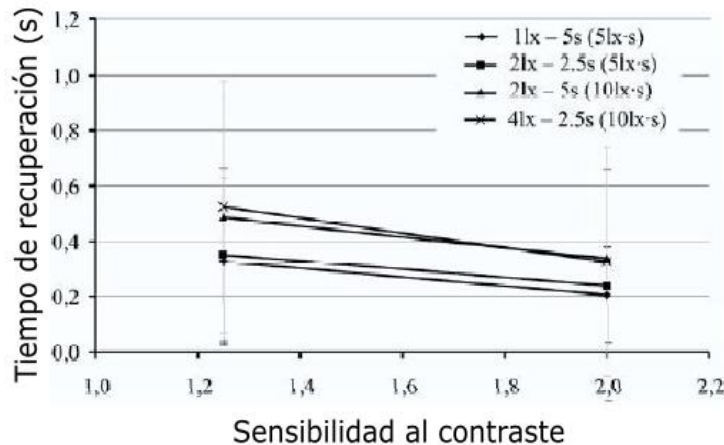


Ilustración 14 Representación de los tiempos de recuperación ante la exposición a una dosis de iluminación determinado en función de la sensibilidad al contraste. (5)

Otros autores, como (Irikura, et al 1999), han demostrado en sus estudios la influencia de la iluminancia de base o ambiental el tiempo de recuperación para diferentes tiempos de exposición y de iluminancia. Concluyendo que, con mismas iluminancias ambientales para diferentes tiempos de exposición, el tiempo de recuperación aumenta, sin embargo, para mismos niveles de iluminancia y tiempo de exposición mayores luminancias ambientales no tienen por qué suponer suponen mayores tiempos de recuperación, si no que depende de la sensibilidad al contraste, según la Ecuación 11.

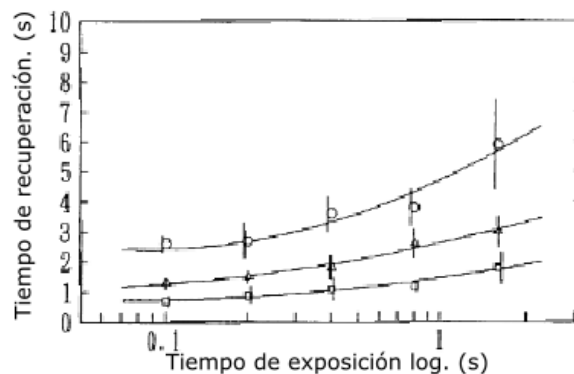


Ilustración 15 Influencia del tiempo de exposición en el incremento del tiempo de recuperación al deslumbramiento. Luminancia ambiental: \square 1 cd/cm^2 , Δ $0,32 \text{ cd/cm}^2$, \circ $0,1 \text{ cd/cm}^2$. (6)

La edad y la salud visual del individuo suponen una disminución en las capacidades de la función visual del individuo, la amplitud de acomodación del cristalino o la capacidad de incrementar la potencia para enfocar objetos depende de la contracción del musculo ciliar; menguando con la edad debido a que ésta conlleva un incremento de tamaño y endurecimiento de dicho músculo, disminuyendo por tanto la capacidad de enfoque, que supone: un decremento de la cantidad de luz que recibe la retina y un mayor grado de dispersión de la luz. La implicación en la función visual es una mayor sensación de deslumbramiento, una reducción de la sensibilidad al contraste y un mayor

tiempo de recuperación. La aparición de cataratas, supone un incremento en la opacidad del cristalino contribuyendo a la dispersión de la luz.

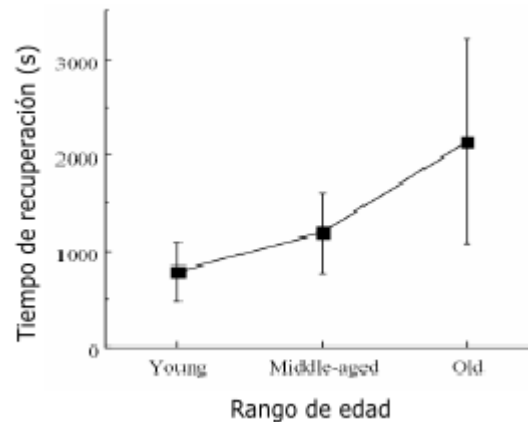


Ilustración 16 Tiempo de recuperación en función del rango de edad. (6)

2.4. Problemática a resolver

Hasta el momento se ha expuesto la influencia de diversos factores al deslumbramiento, siempre en condiciones estáticas. Son válidos para estudiar el deslumbramiento en situaciones estables de laboratorio. Éstos resultados no son extrapolables a situaciones en los que el deslumbramiento se ve afectado por variaciones temporales, en adelante nos referiremos a condiciones dinámicas, una clara muestra de ello es la influencia de la dosis de iluminación visto en la Ilustración 13.

Se hará distinción de los parámetros que afecten al deslumbramiento según tengan un origen fotométrico, físico o de entorno o dependiente del individuo.

La influencia de los parámetros fotométricos, dependientes de la fuente o del objeto, es decir, de la fotometría de la fuente de iluminación, como la distribución de energía espectral, el tamaño de la fuente, la iluminancia, que influyen en el deslumbramiento ha sido expuesta previamente, pero siempre estudiadas en condiciones estáticas o constantes.

Parámetros físicos o dependientes del entorno, como son la distancia longitudinal, la distancia angular entre la fuente de deslumbramiento y la línea de visión del individuo se han estudiado y se conoce su influencia en el deslumbramiento pudiéndose cuantificar, pero también en condiciones estáticas.

Extrapolar, por tanto, resultados o predicciones de deslumbramiento en base a la formulación descrita a situaciones realistas como la conducción conduce a inexactitudes. Se ha comprobado y se tiene constancia para la motivación de éste proyecto de que existe una falta de relación sólida entre estos estudios o test clínicos y la afectación a la función visual en condiciones realistas como es la conducción en carretera, o la afectación de diversos factores o productos a la función visual como son lentes; de contacto,

intraoculares monofocales o multifocales, tratamientos de cirugía láser o fármacos.

Incluso la utilización de una fuente deslumbramiento realista en la que se prevea el control de los parámetros fotométricos y espaciales anteriormente expuestos, no mostraría todos los efectos o implicaciones del deslumbramiento en situaciones como la conducción nocturna, como son tiempos de reacción en la detección de objetos realistas como son viandantes, animales, señales de tráfico, comportamientos distractores como apartar la visión de la carretera o la incapacidad de mantener la estabilidad del vehículo, aunque debido a la aleatoriedad de éstas variables, no se tendrán en cuenta en la realización de éste proyecto.

2.5. Estado del arte

Mucho se ha estudiado acerca del deslumbramiento, se atestigua en la investigación teórica que introduce éste trabajo.

Tradicionalmente, el deslumbramiento se ha estudiado en situaciones en las que se emplean fuentes iluminantes puntuales y estáticas además de un sujeto observador estático.

2.5.1. Sistemas de medida estáticos.

Deslumbrómetros

Existen infinidad de simuladores de deslumbramiento estáticos, llamados deslumbrómetros, utilizados en diversos ámbitos como en clínicas oftalmológicas o en la realización de test psicotécnicos a conductores. Sin embargo, éstos equipos se reducen a una fuente iluminante, generalmente de tipo halógeno capaz de emitir un flujo luminoso de entre 1000 y 1500 lumen cuya finalidad es inducir un deslumbramiento directo en el paciente destinado a verificar las aptitudes psicofísicas de los pacientes o conductores: analizar los tiempos de contracción y dilatación de la pupila y el diámetro pupilar, la capacidad de visión tras el deslumbramiento y el tiempo de recuperación, (11).

Iluminancia y la distancia al paciente o individuo son los únicos parámetros que pueden regularse en los ensayos con deslumbrómetros, sin embargo previamente se han expuesto diversos parámetros fotométricos y espaciales que se han demostrado influyen en el mismo, y aunque se han estudiado con fuentes de deslumbramiento estáticas como en los estudios de (Flannagan, 1999; Akashi, Rea, 2001; Boullough, 2002), no dejan de ser una simulación

excesivamente simplificada no representativa de una situación de deslumbramiento real.



Ilustración 17 Deslumbrómetro LUM-357. GENERAL ASDE (3)

La constatación de la falta de fidelidad entre la correlación de resultados de deslumbramiento en situaciones de deslumbramiento real y los test clínicos realizados con consideraciones de iluminación estáticas, supuso una necesidad de evolucionar el estado de la técnica.

2.5.2. *Sistemas de simulación dinámicos*

Ensayos mediante vehículo "Rensselaer Polytechnic Institute"

Entre los numerosos estudios sobre el deslumbramiento, su influencia en el sistema visual y los parámetros que lo determinan, la mayoría de los cuales que han servido para el desarrollo de éste proyecto tienen origen en el: "Lighting Research Center" del "Rensselaer Polytechnic Institute", todos ellos, estudios y conclusiones se basan en la experimentación con vehículos reales y pruebas de conducción en pista cerrada. Lo que supone una cantidad ingente de recursos económicos y materiales, suficientes como para mantener vehículos, pistas de conducción cerradas, etc. A pesar de la indudable similitud de las situaciones de deslumbramiento generadas en éstos ensayos con las situaciones producidas en conducción real en carretera, éste tipo de ensayo adolece de falta o imposibilidad de repetitividad y reproducibilidad, debido a parámetros que en situaciones de conducción real no son posibles de prever como la aceleración o mantenimiento estrictos de la velocidad del vehículo por parte del conductor, o el mantenimiento o seguimiento visual de la fuente de deslumbramiento por parte del conductor en función de cómo se quiera evaluar la influencia del ángulo formado entre la línea de visión y la fuente de deslumbramiento.

Simulación virtual “Schepens Eye Research Institute”¹¹

Las carencias expuestas han dado origen a simuladores de deslumbramiento avanzados que tratan de suplirlas. Uno de los más conocidos y que supuso un punto de partida para la realización del proyecto es el encabezado por Matthew Fullerton, Eli Peli y Alex D. Hwang. Su simulador se basa en la superposición del efecto de un display LED a modo de fuente de deslumbramiento a través de un divisor de haz 50/50 con un simulador virtual de conducción, sincronizando con la imagen del vehículo aproximándose con la iluminación del display LED, variando la iluminancia del led del display en función de la simulación virtual. Éste sistema incluye en la simulación variables dependientes del conductor, como el mantenimiento de la dirección del vehículo y el sostenimiento de la línea de visión cuando el sistema visual es sometido a una fuente de deslumbramiento. Estas variables intervienen ineludiblemente en una situación de conducción en carretera, sin embargo, son consecuencia, pero no causa del deslumbramiento, y a pesar de que en caso de tratar de simular el comportamiento del conductor en situaciones de deslumbramiento durante la conducción son imprescindibles, se tendrán en cuenta, pero en un segundo plano.

El simulador desarrollado por el Schepens Eye Research Institute de la Harvard Medical School, tiene como fin estudiar los efectos del deslumbramiento en situaciones de conducción e iluminación mesópicas y evaluar el desempeño de personas de edad avanzada, o de personas con diversas afectaciones en su función visual.

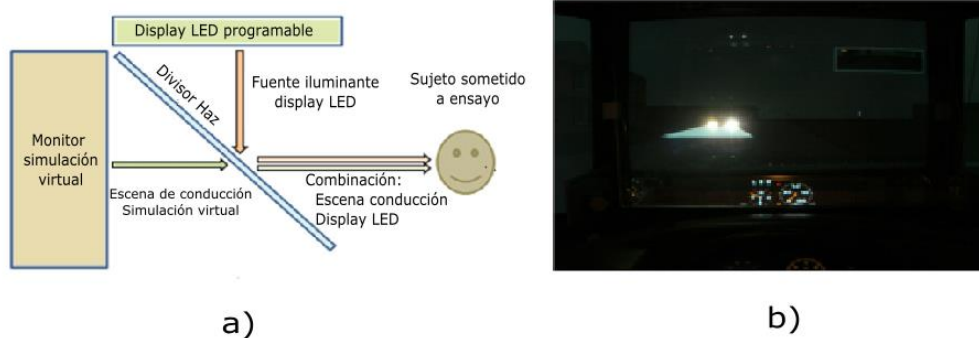


Ilustración 18 a) Representación esquemática del simulador de deslumbramiento de, b) Simulación virtual en combinación con el display led como fuente iluminante. (12) (13)

¹¹ (12)

IOBA-HAXEM¹²

El Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada de la Universidad de Valladolid, desarrolló conjunto a la fundación CIDAUT un sistema de laboratorio de función visual, el IOBA-HAXEM, de simulación dinámica de deslumbramiento, para diversas fuentes iluminantes para un paciente en condiciones de iluminación mesópicas, en las que son controlables parámetros fotométricos como la iluminancia de la fuente y propiedades temporales como la duración del ensayo.

El sistema IOBA-HAXEM Ilustración 19 dispone de dos fuentes de iluminación de tecnología LED, con intensidades luminosas tales que, a la distancia de ensayo, son representativas en iluminancia de la fotometría de faros halógenos o de xenón parque móvil europeo, (UMTRI-2003-37). Es capaz de simular condiciones de iluminación mesópicas o fotópicas por medio de una fuente iluminante adicional. Dispone de un Optotipo Pelli-Robson para la realización de pruebas de triplete basal y sensibilidad al contraste.

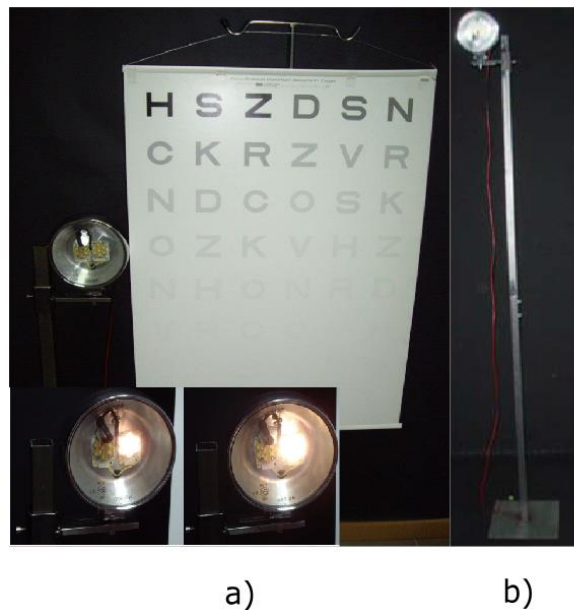


Ilustración 19. IOBA-HAXEM, a) Optotipo Pelli-Robson y fuentes iluminantes LED que caracterizan la fotometría de fuentes iluminantes halógenas y de xenón características del parque móvil europeo UMTRI-2003-37. b) Fuente iluminante para la caracterización de las condiciones mesópicas o fotópicas durante el ensayo.

Experimentación en circuito cerrado

De la colaboración entre IOBA y la fundación CIDAUT, se ha obtenido un informe de diversos ensayos en circuito cerrado, los cuales consistieron en la conducción de un vehículo utilitario, dotado de material de registro y posicionamiento adecuados, en los que se recorrió una distancia de 500

¹² (14)

metros a una velocidad constante de 40 km/h. En el sentido de circulación del vehículo instrumentalizado, se instalaron dos fuentes de iluminación deslumbrantes en una posición fija, representativas de la fotometría generada por los faros de cruce de un vehículo basados en tecnología halógena 1100 lumens y tecnología xenón 3000 lumens.

De dicho ensayo se obtuvieron diversas curvas iluminancia distancia. En dichas curvas es inmediato comprobar la influencia de la tecnología halógena o xenón de la fuente iluminante de los faros de cruce de un vehículo en la iluminancia, la iluminación xenón es más energética en la longitud de onda corta del espectro visible, incrementando el deslumbramiento molesto, sin embargo también es cierto que el reglamento 98 CEPE/ONU dicta una intensidad luminosa en el iluminante xenón superior al halógeno, los ensayos han resuelto que la iluminancia de los faros de xenón es hasta un 310% superior en el máximo de iluminancia de ambas experimentaciones. Estas conclusiones se extraen del informe aportado por el IOBA¹³ observable en las Ilustración 20 Iluminancia halógeno vs xenón.

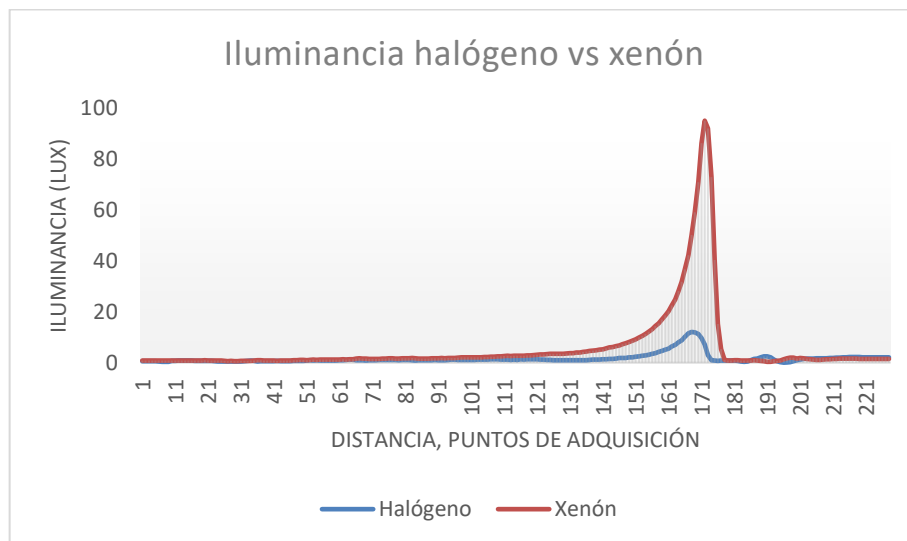


Ilustración 20 Iluminancia halógeno vs xenón. (14)

Es inmediato observar que las diferentes curvas iluminancia-distancia resultantes de distintos ensayos realizados en días diferentes no alcanzan el mismo pico de iluminancia, ni en cantidad de lux ni en la distancia recorrida hasta que éste se alcanza. Las razones que justifican éste hecho son diversas y de distinta naturaleza, aun habiéndose realizado los ensayos el mismo día bajo las mismas condiciones de iluminancia ambiental, mantener la velocidad y la estabilidad al volante, de manera que tanto la distancia entre fuente deslumbrante y luxómetro, y el ángulo respecto a la línea de visión sean iguales entre ensayos, no es repetible para un conductor, independientemente de su

¹³ (14)

habilidad. La influencia en la cuantificación de la iluminancia de estos parámetros está dada en la formulación expuesta en las ecuaciones 1,9 y 10. Estas conclusiones se obtienen de las ilustraciones 23 y 24.

Las pruebas en circuito cerrado, por tanto, son válidas para estudiar y analizar la respuesta de una persona ante deslumbramiento, pudiéndose extraer conclusiones de factores como tiempo de exposición, tiempo de recuperación y sensibilidad al contraste. Pero no es un tipo de ensayo adecuado para aislar las distintas variables fotométricas o espaciales que influyen en el deslumbramiento y profundizar en su estudio, debido a la dificultad en la repetición.

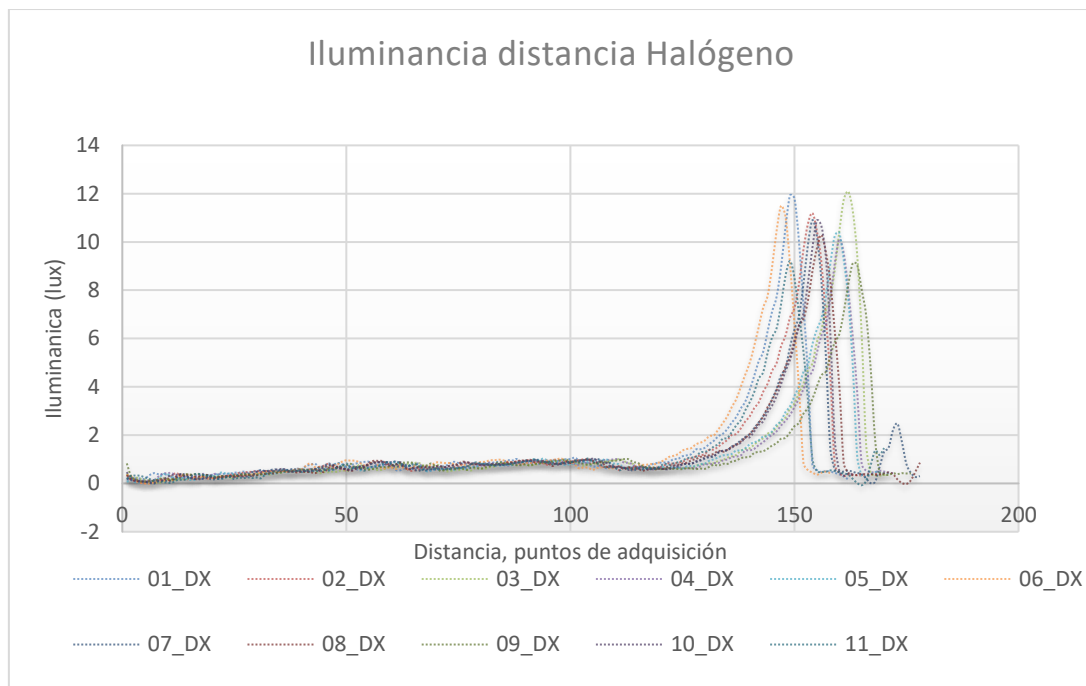


Ilustración 21. Curvas Iluminancia-distancia Halógeno. Información suministrada por el IOBA.

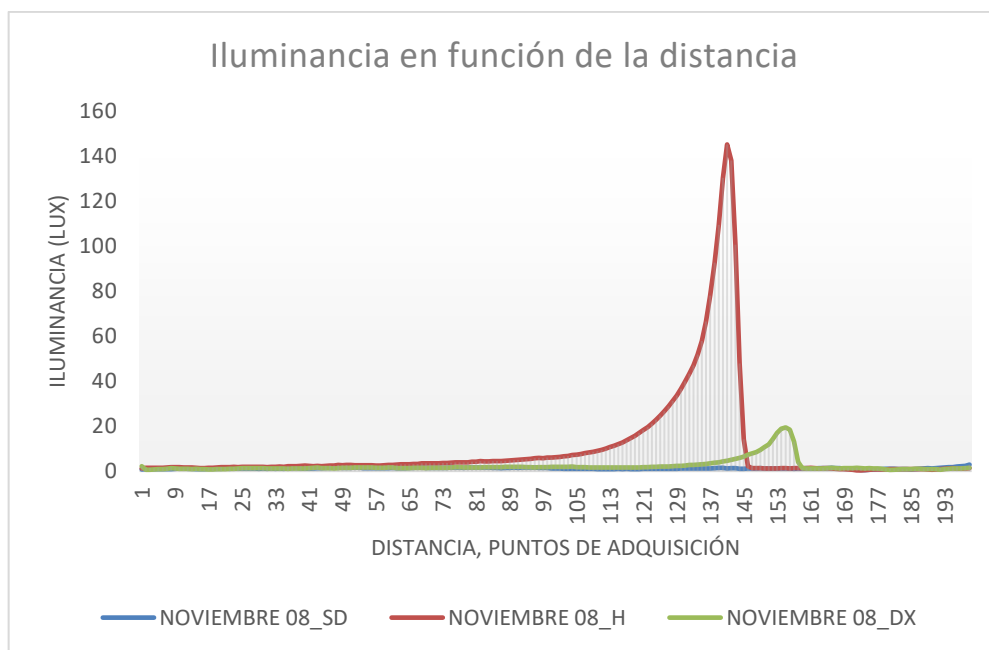


Ilustración 22. Curvas Iluminancia-distancia en función de la tecnología de iluminación 8 de noviembre. SD, sin deslumbramiento; H, deslumbrante Xenón; DX, deslumbrante halógeno. Información suministrada por el IOBA. (14)

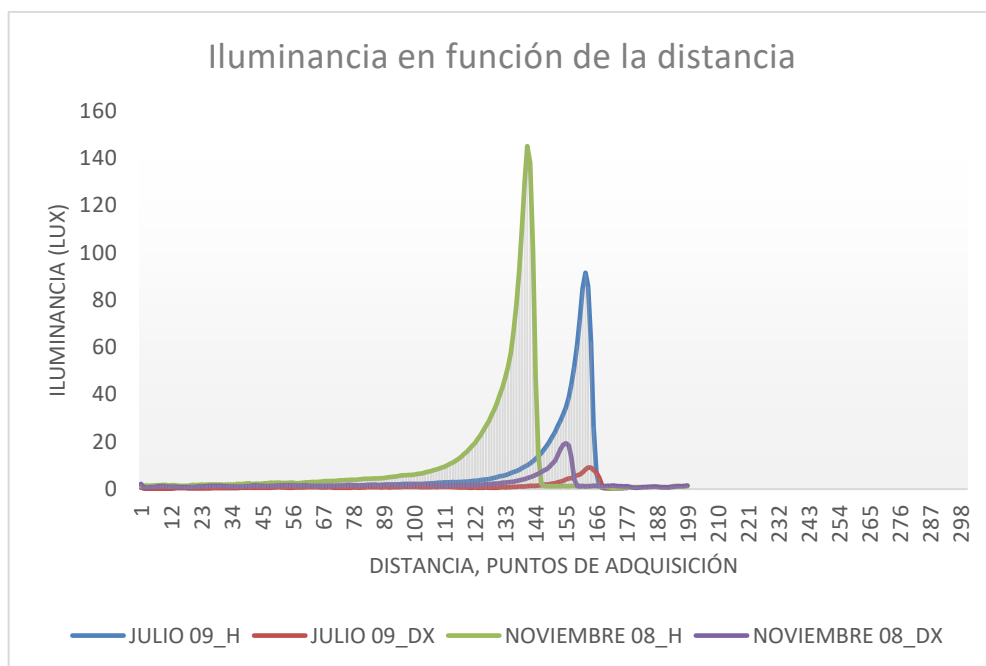


Ilustración 23. Curvas Iluminancia Distancia en función de la tecnología de iluminación, 9 de Julio y 8 de noviembre. Información suministrada por el IOBA.

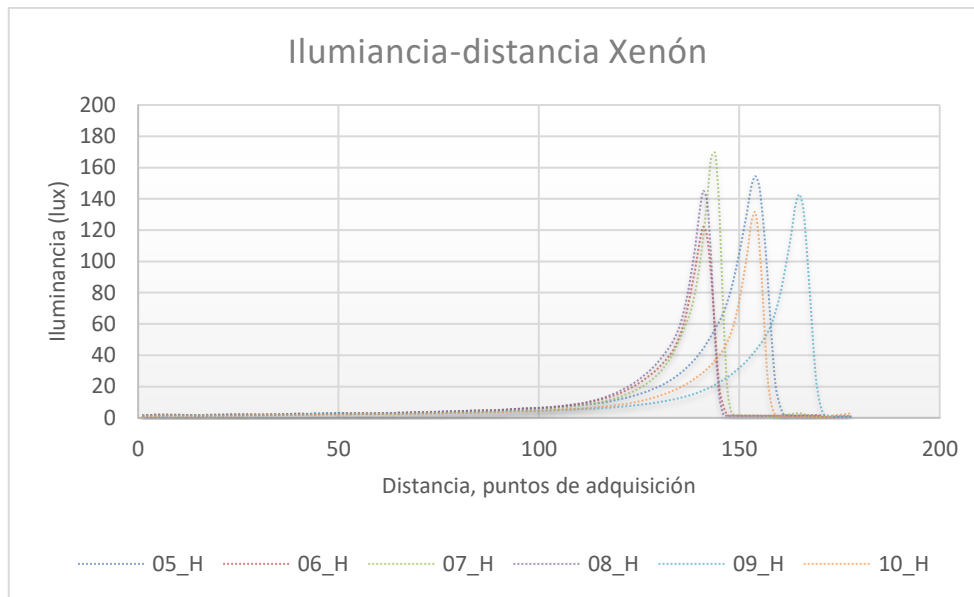


Ilustración 24. Curvas iluminancia-distancia, distintos ensayos bajo mismas condiciones en Julio con iluminante Xenón. Información suministrada por el IOBA.

2.6. El sistema SIMGLARE

SIMGLARE, es un sistema de simulación y validación de deslumbramiento, que reproduce con fidelidad parámetros fotométricos y geométricos característicos de vehículos con capacidad de variación dinámica, lo que lo convierte en una metodología competitiva y en un instrumento de investigación para generar conocimiento en servicio de la afectación en la función visual del usuario del deslumbramiento.

La primera fase del diseño y construcción de SIMGLARE, objeto de éste trabajo de fin de grado, consiste en el diseño y fabricación del primer prototipo de simulador enfocándolo como un producto mínimo viable funcional que permita obtener las primeras mediciones y ser base para: un rediseño, una ampliación en capacidades o mejora en busca de perfeccionar sus características.

“Un producto mínimo viable es una versión limitada de un producto nuevo que permite a un equipo recabar la máxima cantidad de conocimiento validado sobre clientes con el menor esfuerzo posible”.

En base a la definición, se trata de diseñar y construir una versión del producto mínima en cuanto a la cantidad de funcionalidades, a que estas estén incompletas o a la falta de testeo.

Esta decisión se fundamenta en que no se debe construir o diseñar un producto con características que no deseen los clientes, además de que el

objetivo de construir un producto mínimo viable es adquirir un conocimiento por parte del equipo que permita a su vez discernir quiénes son los clientes potenciales y de lo que realmente necesitan y quieren dichos clientes, situación que se corresponde con la actual en el momento de realizar el trabajo de fin de grado.

El conocimiento se va a obtener de manera empírica a través de diversas iteraciones del producto viable mínimo.

Se entrará en el ciclo "Build-Measure-Learn loop", o ciclo "Crear -Medir- Aprender".

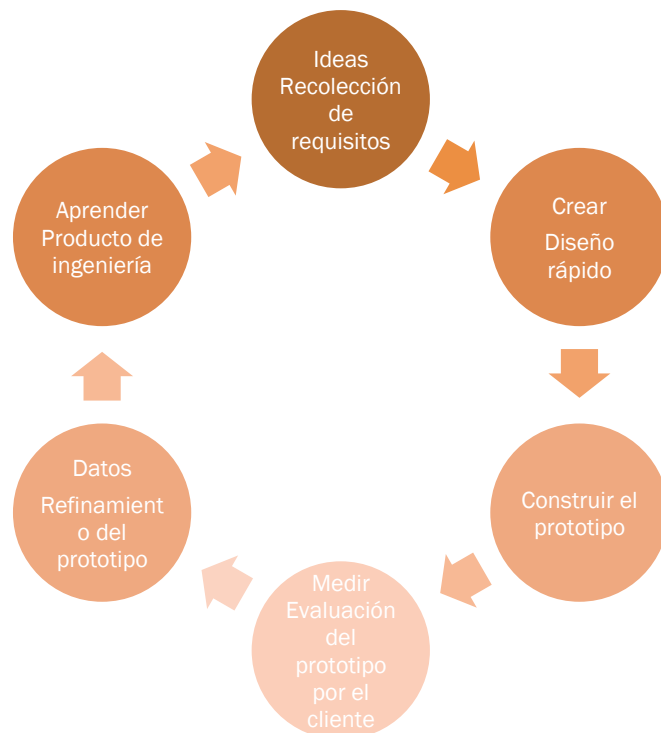


Ilustración 25 Ciclo de prototipado y producto mínimo viable

Este, es un proceso iterativo, en el que hay que crear un diseño lógico que satisfaga parcialmente la necesidad que se ha planteado tras una recopilación de información, dado que no se tiene documentación de productos similares ni de niveles de calidad. El primer producto no será ni definitivo ni perfecto para los potenciales clientes, por lo que hay que enfocar el diseño como un ciclo iterativo en el que hay que determinar el avance en conocimiento de nuestro producto, para obtener un conocimiento claro y conciso sobre cuáles son las características o funcionalidades realmente necesarias y cuáles no lo son. Para ello será necesaria una primera toma de contacto con el cliente con el fin de que pruebe el prototipo e incluso lo utilice realizando unas primeras pruebas, de manera que sea sencillo medir su nivel de satisfacción y evaluar la mejora o inclusión de funcionalidades o redefinirlas por completo.

SIMGLARE se encuentra en la primera fase de éste ciclo iterativo, y este trabajo de fin de grado abarca las fases: Ideas, Crear y Construir del primer ciclo.

Hasta donde abarca el presente proyecto, no se incluirán posteriores fases de evaluación en las cuales se interactúe con el cliente

Las ideas o características establecidas para este primer ciclo de desarrollo de producto son:

1. El sistema “SIMGLARE” tiene como finalidad principal ser un instrumento de investigación para generar conocimiento de la afectación en la función visual de situaciones de iluminación en las que se produzca deslumbramiento, tanto perturbador como molesto, focalizando el estudio en la dinámica del deslumbramiento, es decir en la evolución del deslumbramiento en relación con los parámetros que lo afectan.
2. Permite controlar y regular parámetros tanto fotométricos como espaciales, de manera dinámica e independiente, pudiendo de esta manera aislar e identificar la influencia de cada uno de ellos en la contribución al deslumbramiento perturbador y molesto.

La Ilustración 26, es una curva iluminancia distancia obtenida en un ensayo en pista. El sistema SIMGLARE, permite actuar sobre las variables que influyen en la curva, tanto en la altura pico de iluminancia eje ‘y’, como en la forma, velocidad y tendencia en la que ésta se aplica, ‘eje x’, que, en conjunto a parámetros temporales, es lo que se define como actuar sobre la dinámica del deslumbramiento.

Véase: parámetros como: distancia, distancia angular entre la línea de visión y la dirección del haz de luz, flujo luminoso, intensidad luminosa, tecnología del iluminante y por tanto longitud de onda y energía espectral influyen en el pico de iluminancia alcanzado, de la misma forma velocidad lineal y aceleración lineal relativa entre fuente iluminante y sujeto a ensayo influyen en la distancia entre ambos si el tiempo de exposición está determinado.

Adicionalmente el tiempo de exposición y la dosis de iluminación según se ha visto en las ilustraciones Ilustración 13 y Ilustración 14, son proporcionales al tiempo de recuperación y por tanto afecta a la dinámica del deslumbramiento.

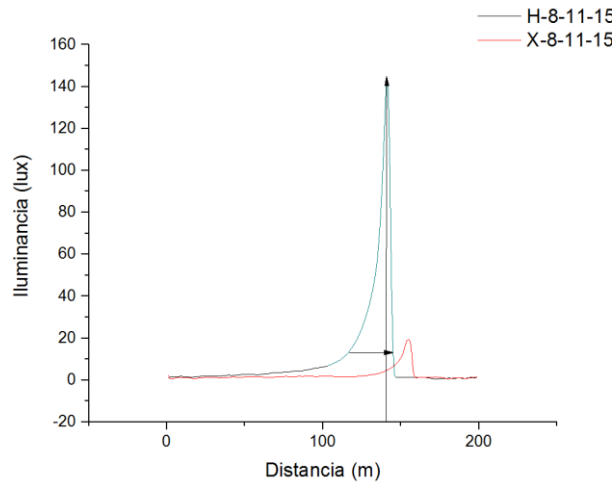


Ilustración 26 Curva iluminancia distancia. Amplitud y espacio Información suministrada por el IOBA. (14)

3. El sistema “SIMGLARE” ha de reproducir a escala la fotometría de los faros de un vehículo.¹⁴ Siendo la iluminancia el parámetro objetivo a tener en cuenta. Ver Anexo 6.
4. El sistema de movimiento y posicionamiento del simulador de deslumbramiento SIMGLARE permite el control de variables geométricas o espaciales como la distancia angular entre la línea de visión y la fuente de deslumbramiento, o la distancia escalada entre el individuo y la fuente de deslumbramiento tanto en la dirección longitudinal como en la perpendicular a la dirección de movimiento, puesto que se ha demostrado que son parámetros influyentes en la formulación que cuantifica la iluminancia, la luminancia de velo y por tanto el deslumbramiento, molesto y perturbador. Se valdrá de un sistema de potencia motorizado con velocidad y aceleración regulables en función del ensayo deseado.

¹⁴ (30)

5. Medición automática de iluminancias, SIMGLARE permite el registro de datos relativo a la iluminancia en cada instante del ensayo en función de la tasa de muestreo con el que se configure.
6. Sistema de control:
 - a. Se ha optado por una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments, por la disponibilidad de la misma.
 - b. El control del sistema se efectuará mediante un programa basado en el software LabVIEW.
 - c. El sistema permitirá el control y regulación del flujo luminoso del sistema de iluminación, capacidades motrices del sistema de potencia tales como la velocidad, aceleración, deceleración y selección del sentido de giro, adquisición de datos relativos a la iluminancia generada en cada ensayo.

2.7. Nuevas posibilidades

SIMGLARE como sistema de ensayo, es una innovación frente a los sistemas de deslumbramiento vistos debido a su capacidad de control de parámetros geométricos, fotométricos y temporales que producen alteraciones en el deslumbramiento en un ambiente controlado y de laboratorio. Abre la posibilidad de estudiar la influencia de éstos en el deslumbramiento sobre personas expuestas a ensayo garantizando la repetitividad de ensayos, pudiendo aislar variables estudiar su influencia en conjunto o independientemente.

Es importante reincidir en que se trata de un instrumento de investigación óptico y oftalmológico, abierto a las modificaciones de diseño y ampliación de capacidades que el investigador considere.

2.8. Diseño de concepto

Con carácter previo al desarrollo de diseño y concepto del sistema de laboratorio, que puede interpretarse como diseño y construcción de una máquina, es necesario un breve análisis de la normativa vigente acerca de la construcción y fabricación de maquinaria, de cómo garantizar la protección en la salud, la seguridad en el trabajo y la protección de los consumidores

2.8.1 Normativa

La responsabilidad de cualquier fabricante que introduzca una máquina en el mercado en el Área Económica Europea, incluido en caso en el que un fabricante se suministre una máquina a si mismo de nueva fabricación o

modificación para uso propio, es decir su primera comercialización y/o puesta en servicio, implica el cumplimiento de los requisitos expuestos en la directiva de máquinas.

En la Unión Europea rige la Directiva de Máquinas 2006/42/CE, que entró en vigor el 29 de diciembre de 2009, las máquinas deberán cumplir con los requisitos esenciales de seguridad y salud enumerados en el Anexo I de la Directiva.

Las normas europeas de Seguridad para Máquinas tienen la estructura siguiente:¹⁵

- a.** Normas de tipo A (normas de seguridad fundamentales) que precisan nociones fundamentales, principios para el diseño y aspectos generales que pueden ser aplicados a todos los tipos de máquinas
- b.** Normas de tipo B (normas de seguridad relativas a una materia) que tratan un aspecto de seguridad o de un tipo de protección que condiciona la seguridad, que son válidas para una amplia gama de máquinas:
 - i.** Normas de tipo B1, que tratan aspectos particulares de la seguridad (por ejemplo, distancias de seguridad, temperatura superficial, ruido)
 - ii.** Normas de tipo B2, que tratan protecciones (por ejemplo, mandos a dos manos, dispositivos de enclavamiento, dispositivos sensibles a la presión, resguardos)
- c.** Normas de tipo C (normas de seguridad por categoría de máquinas) que tratan de prescripciones de seguridad detalladas para una máquina particular o para un grupo de máquinas.

Cuando una norma de tipo C se desvíe de una o más disposiciones técnicas tratadas en normas de tipo A o B, la norma de tipo C es prioritaria.

Algunos ejemplos de estos tipos de normas son los que siguen:

NORMA	TIPO/CATEGORÍA	TÍTULO
UNE-EN ISO 12100	A	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo
UNE-EN ISO 13849-1	B(B1)	Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño

Tabla 4 Ejemplo ilustrativo de normativa relativa a la seguridad de las máquinas.

El REAL DECRETO 1644/2008¹⁶ tiene por objetivo la transposición al derecho interno español las disposiciones de la directiva europea

¹⁵ Extraído de UNE-EN-ISO 12100 (21), Introducción.

¹⁶ Disposiciones generales del Capítulo I, Artículo 1 del REAL DECRETO 1644/2008

2006/42/CE. En él, se define como máquina; “una maquina o maquinaria, es un conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal, aplicada directamente”.

El RD 1644/2008 se aplica a los siguientes productos:

- a.** Las máquinas
- b.** Los equipos intercambiables
- c.** Los componentes de seguridad
- d.** Los accesorios de elevación
- e.** Las cadenas, cables y cinchas
- f.** Los dispositivos amovibles de transmisión mecánica
- g.** Las cuasi máquinas

Sin perjuicio de lo anteriormente indicado, el RD 1644/2008 no se aplicará a diversos productos, entre los cuales destaca:

- h.** Las máquinas especialmente diseñadas y fabricadas con vistas a la investigación para uso temporal en laboratorios.

Una vez expuesto el ámbito de aplicación del REAL DECRETO 1644/2008 y sus excepciones, queda patente que SIMGLARE no se define como máquina según normativa, quedando exento de cumplir con la Directiva de Máquinas 2006/42/CE.

SIMGLARE, se concibe como un sistema de simulación y validación de deslumbramiento, reproduce parámetros fotométricos y geométricos influyentes en la generación de deslumbramiento y posee la capacidad de variarlos dinámicamente, lo que implica que ha de permitir propulsar un sistema de iluminación, de manera que el investigador tenga control sobre la dinámica del ensayo de deslumbramiento, en consecuencia y a pesar de clasificar SIMGLARE como instrumento de laboratorio, no se pueden reducir al mínimo recursos en cuestiones de seguridad, es por eso que el diseño se ha realizado siguiendo pautas marcadas relativas a seguridad expuestas en UNE –EN-ISO 12100:2012.

2.8.2 *Desarrollo de especificaciones y diseño*

La norma UNE-EN-ISO 12100:2012 tiene como finalidad principal que los diseñadores dispongan de una estructura y una guía para la toma de decisiones durante el desarrollo de una máquina con el fin de lograr seguridad. Especifica los principios de evaluación y reducción del riesgo a la par que describen los

procedimientos para la identificación de peligros y la estimación y valoración de los riesgos durante las diferentes fases del ciclo de vida de una máquina.

La estrategia de evaluación y reducción del riesgo que a seguir propuesta en UNE-EN-ISO 12100:2012 ofrece la siguiente estrategia:

- a.** Determinar los límites de la máquina, que incluyen el uso previsto y cualquier mal uso razonable previsible de la misma.
- b.** Identificar los peligros y las situaciones peligrosas asociadas a ellos.
- c.** Estimar el riesgo, para cada peligro y situación peligrosa identificados
- d.** Valorar el riesgo y tomar decisiones sobre la necesidad de reducir el riesgo
- e.** Eliminar el peligro o reducir el riesgo asociado a dicho peligro mediante medidas preventivas.

El proceso de reducción del riesgo contempla las siguientes iteraciones:

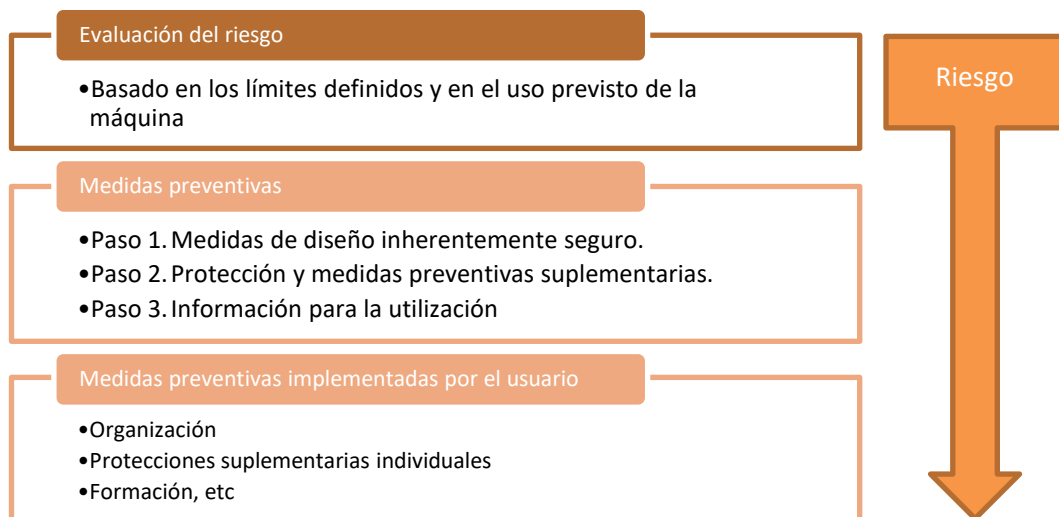


Ilustración 27 Esquematización estrategia de reducción del riesgo en el diseño

2.8.3 Especificaciones previstas de la máquina

Como apoyo para la idealización del sistema, se parte de los ensayos realizados en pista que se realizaron para el instituto IOBA, de los cuales ha dispuesto cierta información.

Los ensayos estuvieron delimitados por distancias recorridas en vehículo de 500 metros a una velocidad media de 40 km/h.

Las curvas iluminancia-distancia resultantes de dichos ensayos, adjuntas previamente, ilustran una variación en la iluminancia captada por el luxómetro en los últimos 50 metros de ensayo aproximadamente, que a una velocidad de 40 km/h suponen que la persona ha expuesto al deslumbramiento durante un intervalo temporal de 4 a 5 segundos. Sumado a que el protocolo de ensayos del IOBA-HAXEM determina una duración de 5 segundos, se ha determinado que los ensayos predefinidos efectuados en SIMGLARE tengan una duración de 5 segundos.

Asimismo, una limitación determinante en el desarrollo de SIMGLARE es el espacio disponible para la ubicación del simulador, que en el momento de desarrollo es de 6 metros y se espera alcanzar una longitud de 12 metros en futuras iteraciones. Dado que para la aceleración y frenado en condiciones seguras del sistema de iluminación se requerirá un espacio estimado en 1 metro, quedan 5 metros útiles para la carrera del sistema de iluminación.

El primer prototipo de SIMGLARE se ha diseñado para propulsar un sistema de iluminación a una velocidad máxima de 1m/s a lo largo de una distancia máxima de 5 metros. Mayores velocidades quedarán limitadas por los componentes del sistema de guiado.

Llegados a éste punto, es inmediato percatarse de que se está dimensionando SIMGLARE para una velocidad de 1m/s frente a la velocidad de los ensayos en pisa es de 40 km/h (11,1 m/s) y los 50 km/h (13,9 m/s) habituales de velocidad de circulación en ciudad. Sin embargo, es importante reincidir en la idea de que SIMGLARE es un instrumento de investigación para generar conocimiento en servicio de la influencia de la variación dinámica de los parámetros de los que depende el deslumbramiento, además de que el sistema de iluminación permitirá la regulación de flujo luminoso, y por tanto la iluminancia no dependerá exclusivamente de la distancia, sino también de la regulación aplicada.

El sistema de iluminación para el prototipo tiene que permitir alcanzar la intensidad luminosa mínima expuesta en la normativa para la fotometría del haz de cruce de un vehículo¹⁷, donde se especifican niveles de flujo luminoso mínimos e intervalos máximos y mínimos de intensidad luminosa para distintas ubicaciones de medida del haz.

Se ha considerado no dimensionar el sistema de iluminación de forma que permita alcanzar los niveles de flujo e intensidad luminosos propios del haz de carretera, debido a que los Reglamentos nº112 y nº113 especifican por omisión que dichos haces garantizarán una correcta iluminación, presuponiendo su carácter deslumbrante y dañino. Adicionalmente se toma esta consideración, debido a que los ensayos realizados en circuito cerrado

¹⁷ (49) y (30)

aportados por el IOBA y aquellos documentados en los artículos citados en la bibliografía¹⁸ emplean el haz de cruce y no de carretera.

Dado que el parámetro fotométrico a reproducir por el simulador es la iluminancia, la cual refleja la cantidad de flujo luminoso en un ángulo sólido determinado que incide sobre una superficie, y que dicha superficie puede distar de la fuente en una longitud arbitraria, no es una característica fotométrica de la fuente iluminante, sino del objeto iluminado, por tanto, no se considera escalar dicha iluminancia en función de la distancia. Se buscan los límites máximos de iluminancia medidos en experimentación en circuito cerrado en los ensayos aportados por el IOBA, que son claves para determinar la elección de la fuente iluminante.

El iluminante definido para la construcción de SIMGLARE, posee unas características fotométricas: $\Phi=2075\text{ lm}$, $I=2700\text{cd/klm}$. Para una información más detallada ver Anexo 6.

Descripción de las fases del ciclo de vida del prototipo

Como se ha expuesto en el apartado previo, el prototipo de SIMGLARE es la primera iteración en un ciclo de desarrollo de producto con el que se pretende generar conocimiento y a partir del cual definir las características de SIMGLARE que le aporten las capacidades y/o funcionalidades que precisen los clientes potenciales, (IOBA).

Este supone que el desarrollo de SIMGLARE ha de abordarse de un modo modular, que permita correcciones y/o variaciones de diseño, además de la ampliación y/o reducción de funcionalidades y capacidades, primando la sencillez y el aspecto económico. Llegados a este punto se resume que el primer prototipo de SIMGLARE, debe cumplir:

¹⁸ (37), (10), (47)

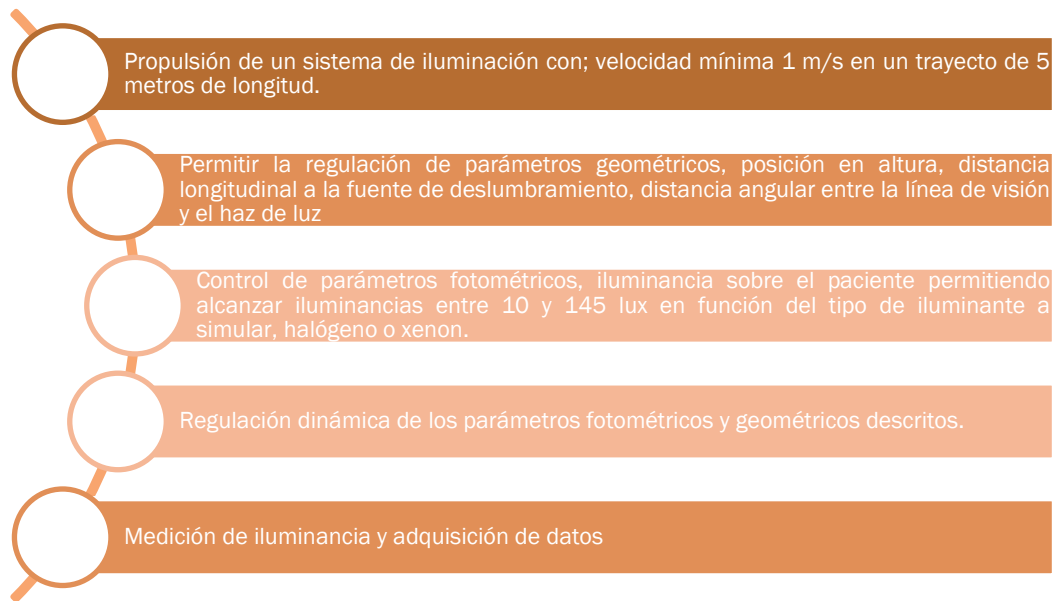


Ilustración 28. Capacidades principales de SIMGLARE

En cuanto al ciclo de vida de la máquina, está definido, pero no acotado, quiere decir que están definidas las distintas fases como se especificó en el apartado 2.2, pero hasta donde abarca el proyecto no se incluirá en la memoria aspectos relativos a la iteración de medición, evaluación y pruebas junto con el IOBA para redefinir capacidades de SIMGLARE. Sin embargo, si se abordarán en el apartado de conclusiones líneas e ideas que redefinen e incrementan capacidades de SIMGLARE.

Definición y naturaleza de los sistemas constitutivos de SIMGLARE

En líneas generales, el prototipo ideado de SIMGLARE, se subdivide en cuatro sistemas diferenciados pero interdependientes:

1. Sistema de movimiento

El prototipo de SIMGLARE permitirá el cumplimiento de las siguientes especificaciones:

- a.** Propulsar un sistema de iluminación en dirección lineal y permitir el retorno.
- b.** Variables geométricas relacionadas que afectan a la dinámica del movimiento parametrizables; velocidad, aceleración y distancia recorrida serán parámetros de ensayo.
- c.** Velocidad de ensayo mínima de 1 m/s
- d.** Aceleración de ensayo mínima de 0,5 m/s²
- e.** Distancia de ensayo de hasta 5 metros.

Se hará uso de:

- a.** Motor asíncrono trifásico de ABB Motors de 1,5kW de potencia en el eje. Ver Anexo 1.
- b.** Variador de frecuencia modelo ALTIVAR 18 del fabricante Telemecanics, (Schneider Electric). Ver Anexo 2
- c.** Transmisión de movimiento mediante un sistema de poleas y correa dentadas. Ver Anexos 4 y 5.

2. Sistema de estructural y de guiado

La estructura del prototipo de SIMGLARE permitirá el cumplimiento de las siguientes especificaciones:

- a.** Bastidor de carácter modular de longitud 6 metros.
- b.** Funcionalidad de bancada motor
- c.** Soporte del guiado lineal de longitud variable, velocidad mínima de 1m/s.
- d.** Soporte del sistema de iluminación, regulable en la dirección transversal a la de guiado que permita la variación del parámetro geométrico ángulo de incidencia de la fuente.

Se hará uso de:

- a.** Perfilera de aluminio y un sistema de elementos de fijación y unión para el montaje y posicionamiento. La elección de éste sistema se debe a que permite un ahorro económico y de tiempo frente a una banca de calderería, permitiendo además acercar el montaje a la fase de diseño, evita problema relacionados con la soldadura, pintado, alineación. Además de las características en flexibilidad y modularidad que ofrece permitiendo cambios de diseño sobre la marcha. Ver Anexo 3.

3. Sistema de iluminación

- a.** El sistema de iluminación tiene que estar dimensionado de manera que parámetros fotométricos característicos de la fuente iluminante estén dentro de los límites establecidos por los reglamentos nº 112 y nº 113 de la Comisión Económica para la Europa de las Naciones Unidas, que son los que establecen las prescripciones relativas a la homologación de faros de haz asimétrico y simétrico respectivamente, para fuentes incandescentes o de led. El reglamento nº98 que regula las fuentes de

gas de descarga establece unos niveles de intensidad luminosa excesivos para el fin que se persigue.

- b.** Adicionalmente, SIMGLARE debe tener la capacidad de reproducir las curvas iluminancia-distancia obtenidas mediante ensayo en circuito cerrado suministrado por el IOBA, en los cuales se alcanzan picos iluminantes de 15 lux para haces halógenos y de 145 lux para haces de xenón.
- c.** El sistema de iluminación previsto para SIMGLARE debe permitir la regulación del flujo luminoso que emita. Ver anexo 6.

Se hará uso de:

- a.** Iluminante $\Phi=2075$ lm, $I=2700$ cd/klm. Ver Anexo 6
- b.** LED Driver de corriente constante y regulación 1-10V. Ver Anexo 6.

4. Sistema de control

- a.** Los sistemas de accionamiento mecánico y de iluminación deben ofrecer la posibilidad de ser regulados en función del ensayo que se requiera, en parámetros como velocidad, aceleración, frenado, inversión de giro y flujo luminoso.

Por criterios de diseñador, se ha determinado que el control del sistema de accionamiento mecánico sea realizado por un variador o convertidor de frecuencia, ver Anexo 2. Dicho variador ha de permitir la selección de diferentes canales con velocidades grabadas, seleccionables mediante señales digitales o analógicas.

El sistema de iluminación ha de permitir regulación de flujo luminoso emitido, dicha regulación ha de ejecutarse mediante el comando de señales analógicas, posibilitando la ejecución de ensayos con flujos luminosos constantes, pero también con rectas o curvas de iluminación configurables en función del estudio. Ver anexo 8.

- b.** Adicionalmente, SIMGLARE debe tener previsto la inclusión de un canal de medida de iluminancia en cada uno de los ensayos que se ejecuten. Dispondrá de un fotodiodo con un filtro de corrección de la respuesta con una curva CIE al 8%.
- c.** La regulación y adquisición descritas han de comandarse mediante un software diseñado para tal efecto.



Ilustración 29 Representación esquemática de SIMGLARE. Grafo basado en UNE-EN-ISO 12100:2012. (15) (3) (16) (17)

2.8.4. Identificación de los límites de la máquina

La evaluación del riesgo comienza determinando los límites de la máquina, se han de tener en cuenta todas las fases del ciclo de vida de la máquina, identificando: características, prestaciones, las personas implicadas y el medio ambiente y o productos.

Entre los límites de utilización se incluyen el uso previsto y el mal uso razonablemente previsible, se han de tener en cuenta:

Límites de la maquina

a. Límites en los diferentes modos de funcionamiento de la máquina y los diferentes procedimientos de intervención del usuario, incluyendo las intervenciones requeridas por los disfuncionamientos durante la utilización de la máquina

i. El control del variador sobre el motor permite una regulación en frecuencia de hasta 50 Hz, en base a la recta de calibración frecuencia velocidad, expuesta en el anexo 2, el límite en velocidad alcanzable por el

carro móvil es de 6 m/s, mientras que el límite admisible dado el sistema de guiado y las protecciones en seguridad previstas es de 1m/s.

ii. El sistema iluminante instalado en SIMGLARE, según el anexo 6 es capaz de producir teóricamente una iluminancia de 26640 lux en el punto más cercano del final de la bancada con un ángulo de apertura de 0°.

b. La utilización de la máquina por personas, diferenciar el sexo, edad la mano de uso dominante o las aptitudes físicas limitadas. SIMGLARE como instrumento de laboratorio no presentará ninguna limitación o dificultad al uso en función del sexo, edad o aptitudes físicas de las personas que hagan uso de él.

c. El nivel esperado de formación de los usuarios, desde operadores, personal de mantenimiento hasta público en general.

i. El uso de SIMGLARE ha de estar restringido a operadores con formación en el uso del mismo, conocimiento del software de control y de los sistemas de seguridad que se han implementado en SIMGLARE.

Límites en el espacio

Entre los aspectos a tener en cuenta se incluyen:

a. Amplitud de movimientos, SIMGLARE no restringirá en forma alguna los movimientos del sujeto expuesto a ensayo ni en el operario.

b. Exigencias dimensionales para las personas que interactúan con la máquina, durante el funcionamiento y mantenimiento.

El puesto de control de SIMGLARE no interferirá espacialmente con la máquina en el transcurso de cualquier ensayo.

Las posibles acciones de mantenimiento de SIMGLARE, se reducen al tensado de correas cuando se estime que alguno de los ramales de la correa presente rozamiento con alguno de los perfiles viga de la estructura, o se observe una flecha o curvatura pronunciada en el alguno de los ramales que configuran la correa. Dada la geometría abierta de la estructura, el operador encargado del mantenimiento tiene acceso externo por el lado en el que se sitúa el motor para ejecutar el tensado mediante la base tensora.

En caso de que el mantenimiento consista en la sustitución de algún elemento, la configuración estructural facilita la accesibilidad, de modo que no se prevé ninguna acción para facilitar el acceso a ningún elemento.

c. Interacción humana como la interfaz “operador-máquina”

El control de SIMGLARE en sus funciones de propulsión mecánica e iluminación, se materializará mediante un control vía software a través de una

tarjeta de adquisición de datos USB 6002 de National Instruments a través de un ordenador, el resto de interacciones entre el operador y la máquina consisten en el accionamiento de el interruptor de encendido o el pulso de setas de emergencia. Ver anexo 8 y anexo 9 para la calibración de la iluminancia en función del voltaje y la distancia y la regulación mediante el software.

d. Interfaz “máquinas-fuente de alimentación de energía”

Los dispositivos que conforman SIMGLARE que precisan de alimentación de energía eléctrica, la obtendrán a partir de un cuadro eléctrico diseñado para tal efecto. Ver anexo 7.

Límites en el tiempo

Los aspectos de los límites en el tiempo a tener en cuenta son:

a. La vida límite de la máquina y/o de alguno de los componentes, teniendo en cuenta su uso previsto y su mal uso razonablemente previsible, no revisten límite alguno en SIMGLARE dado su función de prototipo y ante la expectativa de remodelación, ampliación y sustitución de componentes. En todo caso los relativos a las funciones de seguridad son, ver anexo 11.

- i.** Contactor $B_{10d} = 3 \cdot 10^7$ ciclos
- ii.** Pulsador emergencia; cumple ISO 13849-1:2006 $B_{10d} = 6050$
- iii.** Pulsador marcha paro; cumple ISO 13849-1:2006 $B_{10d} = 2 \cdot 10^6$
- iv.** Interruptor final de carrera $B_{10d} = 10^7$ (50 cpm) y $2 \cdot 10^5$ (50 cpm), límites mecánicos y eléctricos.

b. La frecuencia de revisión establecida para SIMGLARE serán de obligado cumplimiento mensualmente, y están especificados en el apartado de información para la utilización en el anexo 10.

2.8.5. Identificación de peligros

Tras la determinación de los límites de la máquina, se han de identificar de forma sistemática todos los peligros tanto permanentes e imprevistos, situaciones peligrosas y sucesos peligrosos razonablemente previsible, durante todas las fases del ciclo de vida de la máquina.

SIMGLARE tiene como fin la realización de ensayos de deslumbramiento, con diferentes fines, como realización de test de sensibilidad al contraste, test de trío basal y servir de banco de pruebas para la calibración de fuentes iluminantes, lo que quiere decir que en los ensayos un paciente tendrá que

situarse frente a SIMGLARE y que el carro móvil con el sistema de iluminación instalado se le aproximará propulsado por el sistema de accionamiento.

En base a lo expuesto, la utilización de SIMGLARE en el modo de funcionamiento previsto reviste de dos peligros principales:

1. Descontrol del sistema de iluminación móvil contra el límite de la bancada, propiciando por tanto el impacto o catapultando partes o el sistema de iluminación completo contra el sujeto cometido a ensayo.

2. Exceso de luminancia que provoque un daño retinal en el sujeto sometido a ensayo. De diversas fuentes se obtiene el rango fotópico alcanza rangos de luminancia de $[10^4 - 10^5]cd/m^2$, ver (5), otras fuentes declaran daños retinales para largas o breves exposiciones en $3,2 \cdot 10^5cd/m^2$, y $4 \cdot 10^6cd/m^2$, ver (18) (19) (20).

Expuestos de manera técnica acorde a (21) e inherentes a la ejecución del ensayo pero que revisten de gravedad:

- a.** Impacto de partes móviles del sistema motriz.
- b.** Contacto con extremos del sistema de accionamiento.
- c.** Rotura durante el funcionamiento.
- d.** Sobreexposición a luminancia.
- e.** Contacto directo o indirecto con partes eléctricas activas.
- f.** Fallo del sistema de mando en la parada de elementos móviles.
- g.** Movimientos incontrolados, cambios de velocidad.
- h.** Acción de la máquina resultante de la anulación o fallo de dispositivos de protección.

2.8.6. *Elementos del riesgo*

Después de la identificación de peligros, se debe llevar a cabo la estimación del riesgo para cada situación peligrosa, determinando los elementos del riesgo.

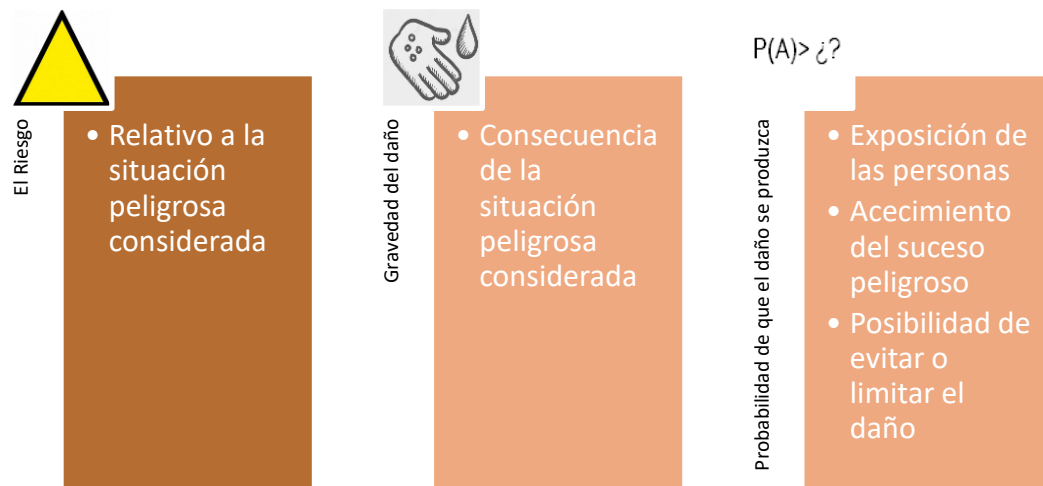


Ilustración 30 Elementos del riesgo. (21) (3). Elaboración propia.

La gravedad de daño engloba dos parámetros, la gravedad de las lesiones y la extensión del daño.

La probabilidad de que se produzca dicho daño, se determina en función de la exposición de las personas al peligro según la necesidad de acceso a la zona peligrosa, el tipo de acceso, el tiempo de permanencia, el número de personas que deben acceder y la frecuencia de acceso.

La posibilidad de evitar o de limitar un daño influye en la probabilidad de que se produzca dicho daño, los factores a tener en cuenta son la cualificación de la persona expuesta, la rapidez con que se produce el daño en una situación peligrosa, el conocimiento del riesgo, las aptitudes humanas para evitar o limitar el daño y la experiencia y conocimiento práctico de la máquina.

En la estimación del riesgo, se debe tener en cuenta la idoneidad de las medidas preventivas, la posibilidad de anular o burlar las medidas preventivas y la aptitud para mantenerlas.

- a Impacto de partes móviles del sistema motriz.
 - i Con consecuencia de aplastamiento por el impacto de un elemento móvil con una parte fija de la máquina, la gravedad del daño puede dañar componentes.
 - ii Impacto del elemento móvil carro con el sujeto a ensayo, causando golpes, heridas o lesiones.
- b Contacto con extremos del sistema de accionamiento
 - i Enganche de una extremidad.
 - ii Seccionamiento de una extremidad.
- c Rotura durante el funcionamiento
 - i Impacto por proyección de elementos móviles causando daños a otros elementos.
- d Sobreexposición a luminancia

- i Daño retinal debido a una sobreexposición lumínica.
- e Contacto directo o indirecto con partes eléctricas activas
 - i Choque eléctrico causando lesiones de diversa naturaleza, desde lesiones nerviosas a lesiones óseas.
 - ii Electrocución
- f Fallo del sistema de mando en la parada de elementos móviles.
 - i Aplastamiento o seccionamiento por el impacto de un elemento móvil con una parte fija.
 - ii Proyección e impacto de elementos móviles contra el sujeto a ensayo y en consecuencia, golpes, heridas o lesiones.
- g Movimientos incontrolados, cambios de velocidad
 - i Causando el aplastamiento de un elemento móvil con una parte fija.
 - ii Proyección e impacto de elementos móviles contra el sujeto a ensayo
- h Acción de la máquina resultante de la anulación o fallo de dispositivos de protección. Engloba los peligros descritos con anterioridad
 - i Causando el impacto de un elemento móvil con una parte fija.
 - ii Proyección e impacto de elementos móviles contra el sujeto a ensayo
 - iii Choque eléctrico.
 - iv Electrocución.
 - v Daño retinal.

Los peligros y su gravedad descritos, en el caso que atañe, se extienden al operador de ensayo y al sujeto expuesto a ensayo.

Es necesario tras la valoración de los riesgos, incluir en el diseño medidas preventivas apropiadas, atendiendo a no incluir riesgos adicionales derivados de dichas medidas preventivas.

Se aplicará el método de los tres pasos para lograr la reducción del riesgo, tras la cual se determinará si se ha logrado una reducción del riesgo adecuada, si:

- a.** Se han tenido en cuenta todas las condiciones de funcionamiento
- b.** Se han eliminado o en todo caso reducido al más bajo nivel los peligros descritos, incluidos aquellos derivados de la introducción de medidas preventivas
- c.** Los usuarios están suficientemente informados y advertidos de los riesgos residuales.

2.8.7 Reducción del riesgo

La reducción del riesgo generado por la máquina, comprende la eliminación o reducción ya sea en conjunto o de forma aislada de los elementos que configuran el riesgo asociado al peligro: la gravedad de daño y la probabilidad de que se produzca dicho daño.

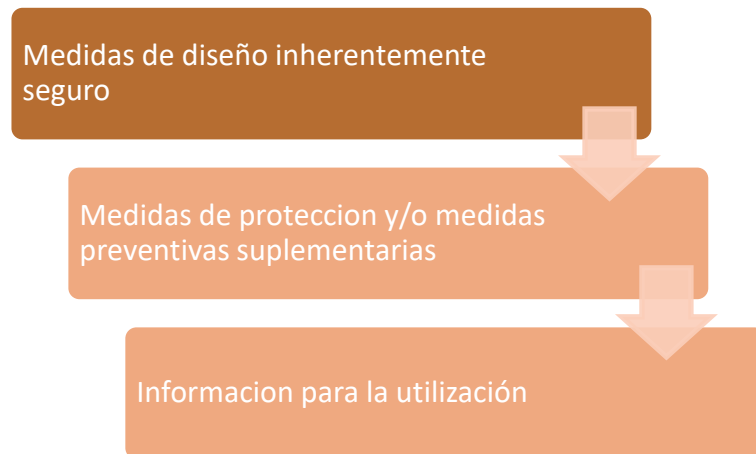


Ilustración 31 Método de los 3 pasos para la reducción del riesgo según UNE-EN-ISO 12100:2012

Medidas de diseño inherentemente seguro

Las medidas de diseño inherentemente seguro constituyen el primer y más importante paso en el proceso de reducción del riesgo. Eliminan los peligros y/o reducen los riesgos asociados mediante una elección conveniente de las características de diseño de la máquina y la interacción entre las personas expuestas y la máquina.

Factores geométricos

La forma de la máquina se ha diseñado para maximizar la visibilidad directa de las zonas de trabajo y de las zonas peligrosas desde el puesto de mando.

En todo momento, desde el puesto de mando principal, el operador de ensayos puede estar seguro, y cerciorarse del correcto desarrollo de los ensayos y de que el sujeto expuesto a ensayo situado en la zona peligrosa o de trabajo está seguro.

La zona peligrosa que comprende el interior del sistema de guiado no debe ser accesible para ninguna persona en ningún caso mientras la máquina esté en funcionamiento y tenga alimentación eléctrica. Estando restringida por un área de seguridad en funcionamiento además de por una célula fotoeléctrica que comanda un relé con la capacidad de conmutación de contactos de forma

que haga la función de interruptor de las señales lógicas enviadas por la tarjeta de adquisición al variador, en serie con los interruptores finales de carrera. Ver anexo 7.

Aspectos físicos

En la medida de lo posible, sin interferir en limitaciones constructivas establecer un límite de la fuerza de accionamiento sin generar peligros mecánicos. El fin de ésta medida preventiva, es lograr el paro del sistema móvil de accionamiento si éste entra en contacto con algún obstáculo en su trayecto adelantándose a la activación de medidas de seguridad como interruptores finales de carrera o pulsadores de emergencia. En éste caso el variador ofrece un parámetro de primer nivel 'iTH' en su configuración que limita la protección térmica del motor. La medida preventiva consiste en reducir la curva de tiempo de disparo en función de la intensidad I^2t ¹⁹ a 3,3 A, por debajo de la establecida en la placa de características del motor (6,6 A para la conexión en triángulo), así el variador ante una sobrecarga fruto de un impacto contra cualquier elemento que ofrezca resistencia se detendrá ante una menor resistencia evitando daños mayores.

Adicionalmente, en el diseño se ha tratado de limitar la masa de los elementos móviles y por tanto su energía cinética para reducir la energía liberada en un impacto.

En la fase actual de prototipo de SIMGLARE, la masa de los elementos móviles suman 9.46 kg, que junto a la velocidad a la que se han limitado los ensayos de 1 m/s, suponen una energía cinética de 9,46 Nm, que pueden ser absorbidos sin perjuicio contra la estructura y demás componentes fijos con un amortiguador, el modelo que se ha determinado óptimo es un amortiguador modelo MC 75EUM-3, por su capacidad de absorción de energía cinética por ciclo de 10 Nm, precio y disponibilidad, sin embargo en el momento de redacción de la presente memoria aún no se ha incluido en la máquina.

Conocimientos técnicos generales del diseño de las máquinas

En el diseño de los diversos componentes de SIMGLRE, se han tenido en cuenta cálculos:

a. Estructurales relativos a desplazamiento en los nodos, flechas, plastificación y pandeo en los perfiles que componen la estructura de SIMGLARE, ver anexo 3. Adicionalmente, se ha tratado en la medida de lo posible diseñar la geometría de la base, en busca de la estabilidad,

¹⁹ $I^2t = \int_{t_A}^{t_B} i^2 dt$, definición del I^2t de una onda de intensidad $i=f(t)$ entre dos instantes t_A y t_B .
(53)

distribuyendo las masas incluida la carga a lo largo de toda la estructura, acortando los perfiles pilares para disminuir el riesgo de pandeo.

Dado el carácter de prototipo, no se han hecho consideraciones acerca de las vibraciones generadas por los elementos rotativos de la máquina, a la expectativa de continuar la iteración de desarrollo y llega a un producto final.

b. En el sistema de guiado las limitaciones en aceleración y velocidades, así como cargas radiales y axiales máximas admitidas por los rodamientos, ver anexo 4.

c. En cuanto a las necesidades de par para validar la capacidad del motor empleado en el sistema de accionamiento, ver anexo 5.

El diseño del sistema de accionamiento, así como el de parada de control tras fallo de software aplican el principio de acción mecánica positiva, por el cual: *‘un componente mecánico arrastra inevitablemente a otro componente a desplazarse, bien por contacto directo o por medio de elementos rígidos’*²⁰, El primero al generar movimiento lineal mediante un sistema de tracción por correa y el segundo al actuar físicamente por contacto el conjunto de elementos móviles sobre un interruptor final de carrera, de forma que se trata de evitar en lo posible fallos derivados de la actuación defectuosa de un elemento sobre otro.

No se han hecho consideraciones acerca del equilibrado estático y dinámico de los elementos giratorios, dada la simetría geométrica y en masa de los mismos respecto al eje longitudinal de la máquina.

Se ha cumplido con el diseño fácilmente reconocible e identificable de los órganos de accionamiento, señalización y advertencia. UNE-EN-ISO 7010:2012.

²⁰ (21)






Color	Significado	Indicación	Simbolización
Rojo	Prohibición	Alto, parada,	
	Alarma	dispositivos de desconexión de emergencia	
Amarillo	Señal de advertencia	Atención, precaución.	
Azul	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica.	
Verde	Señal de condición de seguridad	Ubicación de medidas de seguridad	

Tabla 5 Código colores de advertencias y señalizaciones de seguridad empleadas, según (22)

Adicionalmente, se ha empleado el código de colores establecido por la normativa UNE-EN-ISO 7010:2012 en los botones de marcha paro del cuadro general, y de los diferentes iconos en el software de control.

Además de que todos los órganos de accionamiento son claramente visibles, identificables, y desempeñan acciones unívocas y son seguros, además de que no dan lugar a riesgos adicionales.

El diseño del sistema de mando cumple prescripciones de diseño y seguridad tales como:

- a.** La puesta en marcha de alimentación de energía principal no da lugar a la puesta en marcha del conjunto de elementos móviles ni del sistema de iluminación, todos ellos son gobernados por un sistema de software, que actúa sobre una lógica digital que comandan las bobinas de relés mecánicos y contactores.
- b.** La puesta en marcha de la aceleración mecánica y la iluminación del sistema iluminante son consecuencia de una elevación de tensión eléctrica por parte de un interruptor marcha paro y de diversos elementos de lógica binaria comandados por el operario de ensayo desde el software de control. La deceleración y el apagado del sistema iluminante en las condiciones de funcionamiento previstas, tienen lugar mediante la acción de lógica binaria sin requerir la interacción del operador de ensayo.
- c.** El mantenimiento de las órdenes de parada por enclavamiento para evitar una puesta en marcha intempestiva que diese lugar a comportamientos peligrosos de la máquina.
- d.** Los dispositivos de interrupción de o de control de fluctuación de la alimentación de energía a la máquina, desde interruptores diferencial, magnetotérmico, pulsador marcha paro y pulsadores de emergencia mantienen la función de desconexión y precisan de rearme manual.
- e.** Hay un instrumento de parada contiguo al de puesta en marcha.
- f.** Los distintos órganos o pulsadores de emergencia se sitúan fuera del alcance de zonas peligrosas, cubren toda la máquina en su área visible se inician solamente por acción humana. Están disponibles y operativos en todo momento y anulan todas las funciones y operaciones en el funcionamiento previsto de SIMGLARE, manteniéndose hasta que se rearme manualmente liberándola de su enclavamiento e impidiendo puesta en marcha alguna mientras permanezca activa la parada de emergencia.

Medidas de protección y/o medidas preventivas suplementarias

Teniendo en cuenta el uso previsto, el mal uso razonablemente previsible y la evaluación de riesgos de la máquina, se pueden adoptar medidas de

protección y preventivas complementarias para reducir el riesgo cuando no es posible vitar un peligro o reducir el riesgo asociado suficientemente.

Se debe tener presente que un resguardo fijo es sencillo y que se debe utilizar cuando no se requiere el acceso del operador a la zona peligrosa durante el funcionamiento normal de la máquina.

Se debe prestar atención al cerramiento de los puestos de mando o de las zonas de intervención para proporcionar una protección combinada contra varios peligros:

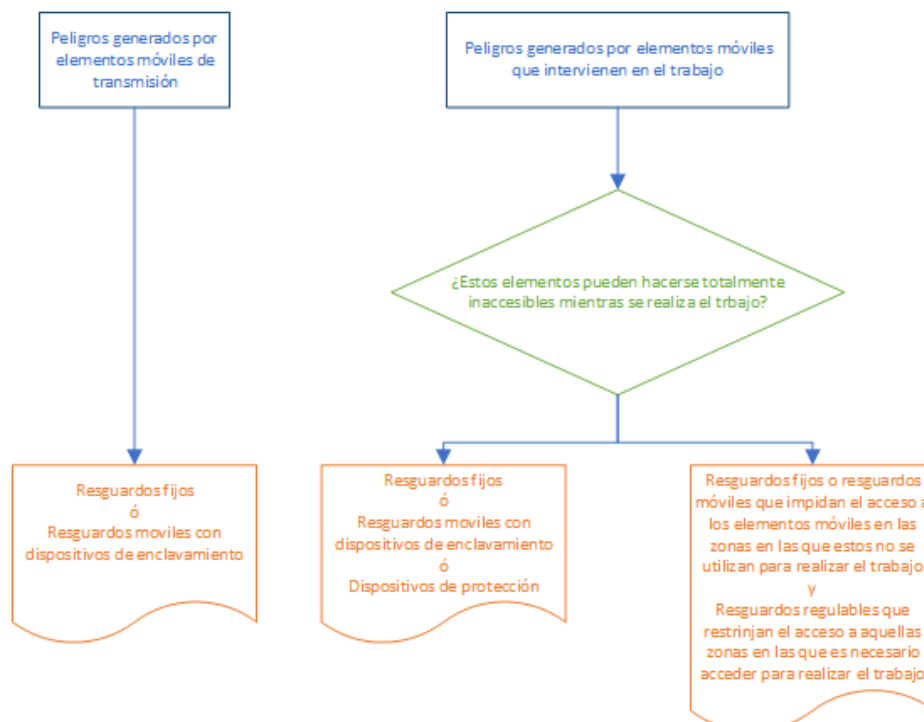


Ilustración 32 Directrices para la selección de protectores contras los peligros generados por elementos móviles. (21)

Dado que no se prevén situaciones en las que sea necesario el acceso a la zona peligrosa durante el funcionamiento normal, y que debido a la naturaleza de la máquina se han de minimizar los componentes con el fin de evitar refracciones de luz, se ha determinado la instalación de:

- a.** Resguardo fijo en calidad de pletina que protejan a las personas de los peligros acaecidos de las partes móviles giratorias del sistema de accionamiento.
- b.** Equipo de emergencia constituido por dos botones de paro de emergencia que actúe cortando el suministro general de alimentación eléctrica a la máquina. Ver anexo 7

- c.** Equipo de protección sensible constituido por un interruptor de posición, con función de detención de las partes móviles, que actúe comandando la bobina de un relé conexasiónado de tal forma que en caso de energización de su bobina interrumpa la conexión entre la entrada de señal lógica del variador y su fuente de alimentación interna, de forma que entraría en funcionamiento el freno por inyección de corriente previsto para tales efectos. Ver anexo 7.

Cumpliendo con características como: impedir el acceso en el caso del resguardo, no ser fácilmente anulables, no restringir la observación del proceso, mantenerse en su posición de una manera segura siendo solo retirables mediante herramienta

Información para la utilización

La información para la utilización constituye una parte integral del diseño de una máquina, consiste en sistemas de comunicación: textos, palabras signos, señales, símbolos o diagramas, de uso individual o conjunto, dirigidos a todo tipo de usuarios.

Se ha proporcionado información al usuario de las instrucciones para asegurar un uso correcto y seguro de la máquina, en la que se informa y advierte a los usuarios acerca de los riesgos residuales.

La situación de la información para la utilización se ha determinado que debe ser colocada mediante señales fuera de la máquina.

SIMGLARE lleva las indicaciones necesarias, identificables sin ambigüedad, ver anexo 10, se incluye:

Identificación

- a.** Nombre y dirección del fabricante.
- b.** Designación de la serie, número de serie.

Para la utilización segura

- c.** Velocidad máxima de los elementos rotativos.
- d.** Masa en kg de la propia máquina.
- e.** Frecuencia de las inspecciones.

Indicaciones relativas a la utilización de la máquina

- f.** Funciones de los órganos de accionamiento
- g.** Representación esquemática de las funciones de seguridad
- h.** Modos y medios de parada
- i.** Mal uso razonablemente previsible
- j.** Indicaciones para el mantenimiento
- k.** Frecuencia de las inspecciones de las funciones de seguridad

3. Conclusiones

En función de los objetivos definidos en el apartado 1.2 se expondrán las conclusiones a los mismos.

Se partió de la propuesta del IOBA del desarrollo de un simulador de deslumbramiento que recrease de forma más fidedigna el deslumbramiento causado por los faros de cruce de un vehículo aproximándose, el cual es el objetivo principal del proyecto, pero que antes de abordarse precisó de la necesidad de un objetivo secundario, pero no carente de importancia, que consistió en un estudio en profundidad del deslumbramiento, de sus causas y de los parámetros de los que depende. Para lo cual se hizo una búsqueda de estudios e investigaciones ya publicados en diversas revistas científicas, como ResearchGate, en la que los estudios de John D. Bullough en el 'Rensselaer Polytechnic Institute' y de Eli Peli en el 'Schepens Eye Research Institute' junto al libro (5) 'Automotive Lighting and Human Vision' han sido las fuentes de referencia principales y las más consultadas. Se concluyó en la influencia en el deslumbramiento molesto o perturbador además de en los tiempos de recuperación de:

- Parámetros de carácter fotométrico, como son la iluminancia de la fuente deslumbrante y la luminancia ambiental que influyen directa y proporcionalmente en la luminancia de velo ecuaciones 9 y 10, la sensibilidad al contraste ecuación 11, los métodos UGR, UGRsmall, GR, etc, ver ecuaciones 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19 y 20, y el espectro de la fuente ilustraciones 7 y 8.
- Parámetros físicos o geométricos como la distancia longitudinal, Ecuación 6 e Ilustración 10, y distancia angular a la fuente de deslumbramiento ilustraciones 11 y 12 y la ecuación 7 el tamaño de la fuente deslumbrante y la cantidad de fuentes deslumbrantes
- Parámetros temporales, como el tiempo de exposición, Ilustración 9, la frecuencia de exposición y la dosis de iluminación en función del producto de iluminancia y tiempo, ilustración 13.

De las conclusiones extraídas en dicho análisis y del estudio del estado de la técnica, se concluyó la construcción de un simulador dinámico como instrumento de laboratorio dada:

- La necesidad de incorporación en el estudio de aspectos dinámicos como la velocidad, la variación de la distancia longitudinal y de la distancia angular, parámetros que no se estaban teniendo en cuenta en los estudios de deslumbramiento y evidenciaban la falta de relación entre los test clínicos y el deslumbramiento real en carretera, según el IOBA y (13).

- La necesidad de una herramienta abierta a modificaciones y funcional como instrumento de laboratorio que reproduzca de manera fidedigna un parámetro fotométrico esencial en el cálculo del deslumbramiento como es la iluminancia propia de la conducción en carretera en condiciones mesópicas y también fotópicas y escotópicas. Variaciones en parámetros como el espectro y el tamaño de la fuente no se han tenido en cuenta en la primera fase de prototipo, que es a la que se refiere éste trabajo.
- La necesidad de repetitividad en los ensayos sin incurrir en los gastos que conlleva la realización de ensayos en pista.

Se concluye que se ha logrado alcanzar el objetivo principal del proyecto, se ha construido un prototipo de simulador de deslumbramiento como instrumento de laboratorio, con la capacidad de generar como parámetro fotométrico, la iluminancia obtenido en los ensayos en pista suministrados por el IOBA,²¹ ver anexo 8, en función de un escalado de la distancia y manteniendo el ángulo entre fuente deslumbrante y línea de visión equivalente al observado en conducción en carretera, con la capacidad de desplazamiento y de regulación en velocidad, lo que supone un hecho diferencial respecto a la influencia de aspectos dinámicos en la generación de deslumbramiento para el estudio.

- Se ha diseñado, calculado y construido una estructura con función de bastidor formada por perfilera de aluminio, modular y regulable en función de las necesidades presentes y futuras.
- Se ha diseñado, calculado el alcance y montado en la estructura un sistema de guiado motorizado, que permite la propulsión del sistema de iluminación a lo largo del mismo con 5 metros hábiles, que permite el control de velocidad y aceleración, limitados para éste primer prototipo a 1 m/s y 0,5 m/s², regulable en todo caso mediante un variador de frecuencia que comanda el motor asíncrono trifásico y un software desarrollado en LabView para tal efecto.
- Se dispone de un sistema de iluminación con un flujo de intensidad luminosa representativo del parque móvil dentro de especificaciones marcadas por las prescripciones marcadas por los reglamentos de homologación de faros de vehículo halógeno y led de CEPE/ONU. Que además dentro del rango de aplicación del simulador, es capaz de producir una iluminancia en el observador dentro del rango observable en el informe suministrado por el IOBA, alcanzando hasta 145 lux respecto a ensayos en pista, habiéndose previsto un sistema de regulación en el flujo luminoso calibrado y predecible con un error del 3,28% en iluminancia y regulable en todo caso mediante un software desarrollado en LabVIEW para tal efecto.

²¹ Ver anexo 8.

- Se ha incluido en el software de control una adquisición de datos para la inclusión de un luxómetro de alta sensibilidad y bajo tiempo de respuesta para medir las curvas iluminancia tiempo, o iluminancia distancia reproducidas.
- Se ha diseñado y construido un cuadro eléctrico para suministrar potencia y control a SIMGLARE.
- En el diseño y construcción de SIMGLARE como instrumento de laboratorio, se han tenido en cuenta las prescripciones expuestas en ISO 12100 respecto a la seguridad de las máquinas, sabiendo que no es necesario debido a la exención de la definición de máquina para instrumentos de laboratorio expuesto en (23).

En base a lo expuesto, el autor determina que se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos que motivaron la realización del proyecto, así como los surgidos y derivados de su realización como la búsqueda de artículos, normativa, búsqueda de proveedores, gestión de ofertas y compras.

Adicionalmente, IOBA ha manifestado su conformidad y satisfacción con el prototipo construido.

3.1 Líneas futuras

Como se expuso en el apartado 2.6, se ha diseñado y construido un diseño lógico, por tanto, satisface parcialmente la necesidad que se ha planteado tras el estudio de deslumbramiento. No se tiene documentación de productos similares ni niveles de calidad.

Se trata por tanto de un primer producto, ni definitivo ni perfecto, con él se ha de profundizar en el conocimiento de nuestro producto mediante la ejecución de ensayos y análisis de deslumbramiento para obtener un conocimiento claro y conciso sobre cuáles son las características o funcionalidades realmente necesarias y cuáles no lo son. Se habrá de evaluar la mejora, funcionalidades adicionales o redefinir el concepto por completo.

En la fecha de escrito de éste proyecto aún no se ha alcanzado ésta fase en la iteración de desarrollo de producto, sin embargo, se tienen ideas o intenciones de cómo ha de evolucionar SIMGLARE, son:

- Ampliación de la bancada o bastidor de 6 a 12 metros, lo que permitirá alcanzar mayores velocidades de desplazamiento, así como una reproductibilidad de los ensayos en pista más fidedigna.
- Incorporación de un sistema de guiado transversal a la dirección principal, de manera que se pueda regular la posición transversal del iluminante

durante en el ensayo, dado que actualmente solo es posible regular ésta distancia previamente al ensayo. Esta mejora supondrá la variación de la distancia angular entre la línea de visión y la fuente deslumbrante de forma dinámica durante los ensayos, hecho diferencial en el estudio del deslumbramiento.

- Incorporación de un 'eye tracker' con la finalidad de analizar la posición de la pupila durante el deslumbramiento y la medición de su tamaño. En las pruebas actuales, estos parámetros se analizan con posterioridad al deslumbramiento, lo que supone que los músculos ciliares en el momento de la medición no tendrán el mismo nivel de estímulo que durante el deslumbramiento, por lo que actualmente no se tiene constancia del tamaño pupilar durante el deslumbramiento. Para el primer prototipo se descartó la posibilidad de incluirlo debido al elevado precio tras una solicitud de ofertas. (Ej., Eye link II SR Research).
- Incorporación de un sistema de obturación mecánico para regular el tamaño de la fuente iluminante, de la que se tiene constancia según (6) que influye en el deslumbramiento.
- Sustitución del driver LED 36 CC 700 P240 por otro con regulación PWM, para poder controlar el flujo luminoso a menor escala, ya que se ha visto en el anexo 8 que una regulación mínima de 1V no es suficiente para poder simular la iluminancia de un vehículo con iluminante halógeno a largas distancias. Lo que conllevará la sustitución de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6002 por otra con salidas ttl contador.

Bibliografía

1. Corrons Rodriguez, Antonio, Campo Acosta, Joaquín y Melgosa Latorre, Manuel. *El libro blanco de la iluminación*. Madrid : Editorial MIC, 2011. Vol. 1 Principios básicos de la iluminación.
2. San Martín Páramo, Ramón, y otros. *El libro blanco de la iluminación*. Madrid : Editorial MIC, 2011. Vol. 5 Aplicaciones de alumbrado exterior.
3. Google. <https://www.google.es/imghp>. [En línea] [Citado el: 9 de 10 de 2016.]
4. Van Derlofske, John, y otros. *Headlamp Parameters and Glare*. 2004. pág. 9.
5. Wördenweber, Buckard, y otros. *Automotive Lighting and Human Vision*. Berlin : Springer, 2007.
6. Van Derlofske, John y Bullough, John. *What is Glare?* [ed.] Rensselaer Polytechnic Institute. s.l. : Rensselaer Polytechnic Institute. pág. 34.
7. Sanz, María Peñahorra García. *Iluminación en el puesto de trabajo, criterios para su evaluación y acondicionamiento*. s.l. : Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo.
8. AENOR. *UNE-EN-ISO 12464-1:2012 Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores*. Madrid : Aenor, 2012.
9. Bullough, John D, y otros. *Predicting discomfort glare from outdoor lighting installations*. 2008. pág. 40.
10. Bullough, John D. *Luminance versus Luminous Intensity as a Metric for Discomfort Glare*. s.l. : Rensselaer Polytechnic Institute, 2011.
11. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 170/2010 Reglamento de centros de reconocimiento destinados a verificar las aptitudes psicofísicas de los conductores*. s.l. : BOE, 2010. pág. 21.
12. Fullerton, Matthew y Peli, Eli. *Developoement of a system to study the impact oh headlight glare in a driving simulator*. s.l. : Schepens Eye Research Institute, 2009. pág. 7.
13. Peli, Eli y Hwang, Alex D. *Headlight glare simulator for a driving simulator 2.0*. s.l. : PROCEEDINGS of the Fifth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 2013. pág. 20.
14. IOBA. *Informe IOBA 2015*. Valladolid : s.n., 2015.
15. Brammer. Brammer Online. [En línea] <https://es.brammer.biz/>.
16. Winkel. [En línea] 6 de 6 de 2016. <http://www.winkel.de/index/>.
17. Galad. Galad. [En línea] 21 de Septiembre de 2016. <http://galad.ru/en/catalog/285/07526/>.
18. Alan Smith, N. Iluminación riesgos generales. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. s.l. : INSHT.

19. ASEPEYO. Iluminación: conceptos, fuentes, luminarias. [En línea] [Citado el: 23 de 9 de 2016.] [http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAF%20-%20Temario%20de%20Iluminaci%C3%B3n.PDF/\\$file/HAF%20-%20Temario%20de%20Iluminaci%C3%B3n.PDF](http://prevencion.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAF%20-%20Temario%20de%20Iluminaci%C3%B3n.PDF/$file/HAF%20-%20Temario%20de%20Iluminaci%C3%B3n.PDF).
20. Jong-Ju, Hong, y otros. *Rendering of HDR images to improve brightness discrimination*. s.l. : Society for Information Display, 2016.
21. AENOR. *UNE-EN ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo*. Madrid : Aenor, 2012.
22. —. *UNE-EN ISO 7010:2012 Símbolos gráficos. Colores y señales de seguridad. Señales de seguridad registradas*. Madrid : Aenor, 2012.
23. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1644/2008*. s.l. : BOE, 2008.
24. Mora, Jesus Fraile. *Máquinas Eléctricas*. Aravaca(Madrid) : McGrawHill, 2008.
25. Schneider Electric. *Guía de Explotación Altivar 18*. s.l. : Schneider Electric.
26. FASTEM Sistemas. <http://www.cosien.com>. [En línea] <http://www.cosien.com/archivos/upload/47.pdf>.
27. Shigley, Josheph Edward. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. 8. México D.F : McGrawHill, 2008. pág. 1092.
28. GMBH, Walther Flender. *Synchronous drives for linear motions*. Düsseldorf : s.n.
29. Cardona Foix, Salvador y Clos Costa, Daniel. *Teoría de máquinas*. s.l. : EDICIONES UPC, 2001. pág. 252.
30. Diario Oficial de la Unión Europea. *Reglamento nº 113 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los faros de vehículos a motor que emiten un haz de cruce simétrico o un haz de carretera, o ambos o ambos, y están equipados con lámpara de incandescencia de gas o con módulos LED*. 2014. pág. 65.
31. RS-ONLINE. RS-ONLINE AMIDATA. [En línea] 10 de 8 de 2016. <http://es.rs-online.com>.
32. AENOR. *UNE-EN-ISO 13849-1:2008*. Madrid : Aenor, 2008.
33. Ministerio de economía y Competitividad. ITC-BT-47. *Instalación de receptores. Motores*.
34. Antonio Miravete, Emilio Larrodé, Luis Castejón, Jesus Cuartero. *Los transportes en la ingeniería industrial*. Barcelona : Editorial Reverté, S.A., 2002.
35. Roa, Agustín López. *Cintas transportadoras*. Madrid : CIE Inversiones Editoriales-Dossat 2000, 2002.
36. America, Illuminating Engineering Society of North. *IESNA Lighting Handbook*. Nine edition. Nueva York : Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

37. NHTSA. *Nighttime glare and driving performance*. Washington : National Highway Traffic Safety Administration, 2007.
38. Bullough, John D, y otros. *An Investigation of Headlamp Glare: Intensity, Spectrum and Size*. Washington : National Highway Traffic Safety Administration, 2003.
39. Boletín Oficial del Estado. *Norma 3.1-IC Trazado de la Instrucción de Carreteras*. 2016. pág. 237.
40. AENOR. *UNE-EN 62471:2009 Seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas*. Madrid : Aenor, 2009.
41. National Instruments. *National Instruments*. [En línea] <http://www.ni.com/es-es.html>.
42. AENOR. *UNE-EN-ISO 58-204-92 Aparatos de manutencion contínua*. Madrid : Aenor, 1992.
43. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. *A method for estimating discomfort glare from exterior lighting systems*. Troy : Lighting Research Center, 2011.
44. Diario Oficial de la Unión Europea. *Reglamento n °48 sobre disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos por los que se refiere a la instalación de dispositivos de alumbrado y señalización luminosa*. 2007. pág. 67.
45. Boletín Oficial del Estado. *Reglamento General de Conductores*. s.l. : BOE, 2009. pág. 115.
46. Schneider Electric. Capítulo 5. Arranque Motor. [En línea] <http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/guia-soluciones-aut/guia-soluciones-capitulo5.pdf>.
47. Bullough, John D y D, Ph. *Spectral and Temporal Factors Associated with Headlight Glare: Implications for Measurement*. Nueva York : Lighting Research Center, 2008. pág. 23.
48. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Tr. *NTP 400: Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano*. s.l. : INSHT, 1999.
49. Diario Oficial de la Unión Europea. *Reglamento n° 112 Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los faros de vehículos a motor que emiten un haz de cruce asimétrico o un haz de carretera, o ambos o ambos, y están equipados con lámpara de incandescencia de gas o con módulos LED*. 2014. pág. 62.
50. Institute, University of Michigan Transportation Research. *UMTRI-2003-37, A market-weighted description of low-beam headlighting patterns in Europe*: 2003. s.l. : UMTRI, 2003. pág. 15.
51. Boletín Oficial del Estado. *Real Decreto 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07*. s.l. : BOE, 2008. pág. 70.

52. Schneider Electric. Capítulo 4. Arranque y protección de motores de CA. [En línea] <http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/guia-soluciones-aut/guia-soluciones-aut-capitulo4.pdf>.

53. Martínez García, Salvador y Gualda Gil, Juan Andrés. *Electrónica de potencia: componentes, topologías y equipos*. Madrid : Thomson, 2006.

54. Matweb. [En línea] [Citado el: 7 de 9 de 2016.] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=26d19f2d20654a489aefc0d9c247cebf&ckck=1>.

55. *El deslumbramiento, lo más peligroso*. Tráfico y Seguridad Vial. 42, s.l. : Tráfico y Seguridad Vial, 2007.

56. Benjumea, Antonio Carmona. *Datos entropométricos de la población laboral española*. s.l. : INSHT, 2001.

Anexo 1. Interpretación de la placa de características del motor asíncrono trifásico.

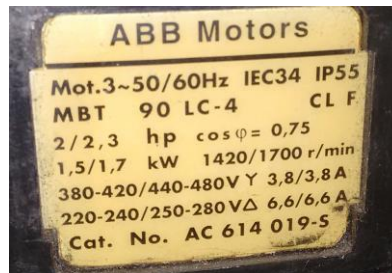


Ilustración 33 Placa de Características del Motor ABB Motors

Se trata de un motor trifásico de corriente alterna del fabricante ABB Motors, capaz de funcionar a 50 o 60Hz. Dado que se conectará a una red eléctrica europea de 220V a 50Hz, se tomarán los valores correspondientes a una conexión en triángulo.

El motor cumple todas las normas de la serie 34 de la Comisión Electrotécnica Internacional, el grado de protección de la carcasa del motor contra agentes externos, atendiendo a la CEI es IP55 que implica Protección total contra contactos directos, protección contra depósitos de polvo perjudiciales y protección contra chorros de agua en todas las direcciones.

CIFRA	SIGNIFICADO		
	1.ª CIFRA Protección contra contactos directos y cuerpos extraños	2.ª CIFRA Protección contra la penetración de líquidos	3.ª CIFRA Protección contra los choques mecánicos
0	Sin protección	Sin protección	Sin protección
1	Protección contra contactos directos casuales de grandes superficies, por ejemplo con la mano. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 50 mm.	Protección contra la caída vertical de gotas de agua.	Energía de choque: 0,225 julios.
2	Protección contra contactos directos con los dedos. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 12 mm.	Protección contra la caída de gotas de agua inclinadas en cualquier ángulo hasta 15° con la vertical.	
3	Protección contra contactos directos de herramientas, hilos, etc., mayores de 2,5 mm de diámetro. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 2,5 mm.	Protección contra el rociado de agua en un ángulo de hasta 60° con la vertical.	Energía de choque: 0,5 julios.
4	Protección contra contactos directos con herramientas, hilos, etc., mayores de 1 mm de diámetro. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 1 mm.	Protección contra la proyección de agua en todas las direcciones.	
5	Protección total contra contactos directos. Protección contra depósitos de polvo perjudiciales.	Protección contra chorros de agua en todas las direcciones.	Energía de choque: 2 julios.
6	Protección total contra contactos directos. Protección total contra la penetración de polvo.	Protección contra inundaciones pasajeras.	
7		Protección contra los efectos de inmersión.	Energía de choque: 6 julios.
8		Protección contra inmersión prolongada.	
9			Energía de choque: 20 julios.

Tabla 6 Dígitos para indicar la clase de protección. (24)

La potencia mecánica en el eje es de 1,5kW. Se trata de una potencia asignada por el fabricante, no implica que el motor produzca 1,5kW en todas las circunstancias. Se trata de la máxima potencia mecánica que puede producir el motor, sin que se superen los límites de temperatura que soportan los aislamientos.

CL F, indica la clase de motor en cuanto a la máxima temperatura de funcionamiento y tipo de aislamiento. En éste caso, es de clase F, lo que significa que puede funcionar hasta una temperatura máxima de 155°C.

Los bobinados se pueden conectar en estrella hasta una tensión máxima de 420V, circulando en ese caso una corriente por cada línea de alimentación de 3,8 A. En caso de que la conexión sea en triángulo, la tensión compuesta entre las fases de alimentación puede ser máximo de 220 V, circulando por cada una de las líneas de alimentación 6,6 A.

El factor de potencia $\cos \varphi = 0,75$ es con el que trabaja el motor a plena carga.

Se puede calcular la potencia eléctrica que absorbe el motor de la red a plena carga:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 6,6 \cdot 0,75 = 1886,20 \text{ W}$$

Ecuación 22

El rendimiento del motor, se puede obtener de la siguiente forma:

$$\mu_m = \frac{\text{Potencia en el eje}}{\text{Potencia absorbida}} = \frac{P_u}{P} = \frac{1500}{1886,20} = 0.7952 \approx 79\%$$

Ecuación 23

La velocidad de giro del motor a plena carga para la frecuencia de motor a la que se va a conectar a red es de 1420 r.p.m. Los motores asíncronos trabajan por debajo de la velocidad e sincronismo, por lo que ésta debe ser 1500 r.p.m, por tanto, el número de pares de polos debe ser:

$$p = \frac{60 \cdot f_1}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2$$

Ecuación 24

Por consiguiente, el deslizamiento a plena carga será:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053 \hat{=} 5,3\%$$

Ecuación 25

El par motor en condiciones nominales, se obtiene hallando el cociente entre la potencia mecánica por la velocidad angular de giro, en condiciones nominales:

$$T_m = \frac{P_u}{n} = \frac{1500}{2\pi \frac{1420}{60}} = 10,09 \text{ Nm}$$

Ecuación 26

Anexo 2. Variador

El alcance de éste anexo será breve y servirá para analizar brevemente las características constructivas y de configuración del variador del que se dispone para la construcción del simulador de deslumbramiento, de manera de que queden esgrimidas las razones que expliquen el cómo y el por qué se ha configurado el variador de frecuencia.

El variador de frecuencia del que se dispone es un Variador Altivar 18 del fabricante Telemecanique, hoy día Schneider Electric, modelo ATV-18U29M2.

Se trata de un variador de tensión de alimentación de red 220 a 240 V, con una frecuencia de alimentación monofásica de 50/60Hz. Es apto para controlar motores de potencia de 1500W, como el motor ABB del que se dispone.

Red Tensión de alimen- tación	Corriente de línea (1)		Potencia indicada en la placa		Altivar 18 Corriente de salida perma- nente		Potencia disipada a carga nominal	Referencia	Peso
	a U1	a U2	kW	HP	A	A	W		
U1...U2 V	A	A	kW	HP	A	A	W		kg
200...240 50/60 Hz monofásica	4,4	3,9	0,37	0,5	2,1	3,1	23	ATV-18U09M2	1,5
	7,6	6,8	0,75	1	3,6	5,4	39	ATV-18U18M2	1,5
	13,9	12,4	1,5	2	6,8	10,2	60	ATV-18U29M2	2,1
	19,4	17,4	2,2	3	9,6	14,4	78	ATV-18U41M2	2,8
200...230 50/60 Hz trifásica	16,2	14,9	3	—	12,3	18,5	104	ATV-18U54M2	3,3
	20,4	18,8	4	5	16,4	24,6	141	ATV-18U72M2	3,3
	28,7	26,5	5,5	7,5	22	33	200	ATV-18U90M2	7,8
	38,4	35,3	7,5	10	28	42	264	ATV-18D12M2	7,8
380...480 50/60 Hz trifásica	2,9	2,7	0,75	1	2,1	3,2	24	ATV-18U18N4	2
	5,1	4,8	1,5	2	3,7	5,6	34	ATV-18U29N4	2,1
	6,8	6,3	2,2	3	5,3	8	49	ATV-18U41N4	3,1
	9,8	8,4	3	—	7,1	10,7	69	ATV-18U54N4	3,3
	12,5	10,9	4	5	9,2	13,8	94	ATV-18U72N4	3,3
	16,9	15,3	5,5	7,5	11,8	17,7	135	ATV-18U90N4	8
	21,5	19,4	7,5	10	16	24	175	ATV-18D12N4	8
	31,8	28,7	11	15	22	33	261	ATV-18D18N4	12
	42,9	38,6	15	20	29,3	44	342	ATV-18D23N4	12

Ilustración 34 Modelos gama de variadores Altivar 18 y características principales. (25)

El variador Altivar 18, dispone en su parte inferior de unos borneros para el conexionado eléctrico. Requiere de cables de 6mm² o AWG 10, capaces de soportar corrientes de 30 A. El bornero de potencia consta de las conexiones establecidas en la tabla.

Bornas	Función	Para Altivar ATV-18
L1 L2 L3	Alimentación de potencia	Todos los calibres
		Trifasicos unicamente
↓		Todos los calibres
	No utilizar	Todos los calibres
PA PB	Salida hacia la resistencia de frenado	Todos los calibres
U V W	Salidas hacia el motor	Todos los calibres
↓	Borna de masa del Altivar	Todos los calibres

Ilustración 35 Bornes de Potencia del Variador Altivar 18. (25)

El variador debe conectarse imperativamente a tierra, a fin de que cumpla la reglamentación relativa a fuga de corrientes elevadas, superiores a 3,5 mA.

Las conexiones L1, L2 y L3 son los terminales alimentación de potencia del variador de frecuencia, unen al variador a la red eléctrica monofásica de 220V, previo paso de protecciones eléctricas como son un interruptor diferencia, interruptor magneto térmica y la seta de emergencia.

Los bornes U, V y W son las salidas de corriente eléctrica hacia el motor asíncrono trifásico.

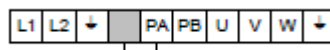


Ilustración 36 Disposición de bornes de Potencia del Variador Altivar 18. (25)

El conexionado practicado en el variador figura en la imagen que sigue:

El bornero de control consta de las conexiones necesarias para el control del variador, requiere de cableado AWG16 de 1,5mm² que tolera corrientes de 10A.

Borna	Función	Características
SA SC SB	Contacto NA ó NC del relé de seguridad. Cerrado para variador bajo tensión, sin fallo	Podér de conmutación de los contactos: - mín. 10 mA para 5 V--- - máx. sobre carga inductiva (cos φ 0,4, L/R 7 ms) 1,5 A para 250 V~ y 1,5 A para 30 V---
+10	Alimentación para potenciómetro de consigna 1 a 10 kΩ	10 V ^{+15%} 10 mA máx., protegidos
AI1	Consigna de velocidad en tensión	Entrada analógica 0 + 10 V impedancia 30 kΩ
AI2 AIC	Consigna en tensión o Consigna en corriente, sumatoria de AI1	Entrada analógica 0 + 10 V impedancia 30,56 kΩ o entrada analógica 0 - 20 mA (preajuste de fábrica) ó 4 - 20 mA, impedancia 400 Ω AI2 o AIC son asignables. No utilizarlas simultáneamente.
COM	Común para entradas lógicas y analógicas y salida lógica	
LI1 LI2 LI3 LI4 }	Mando de sentido directo Mando de sentido inverso Velocidades preseleccionadas	Entradas lógicas impedancia 3,5 kΩ Alimentación + 24 V (máx. 30 V) Estado 0 si < 5 V, estado 1 si > 11 V LI2, LI3, LI4 son asignables
+24	Alimentación de las entradas y salidas lógicas	+ 24 V protegidos, consumo máx. 100 mA
LO+	Alimentación de la salida lógica	A conectar al + 24 V internos o al + 24 V (máx. 30 V) de una alimentación externa
LO	Referencia de velocidad alcanzada	Salida lógica compatible API (colector abierto) + 24 V máx. 20 mA con fuente interna ó 200 mA con fuente externa. LO es asignable.

Ilustración 37 Bornes de Control del Variador Altivar 18. (25)

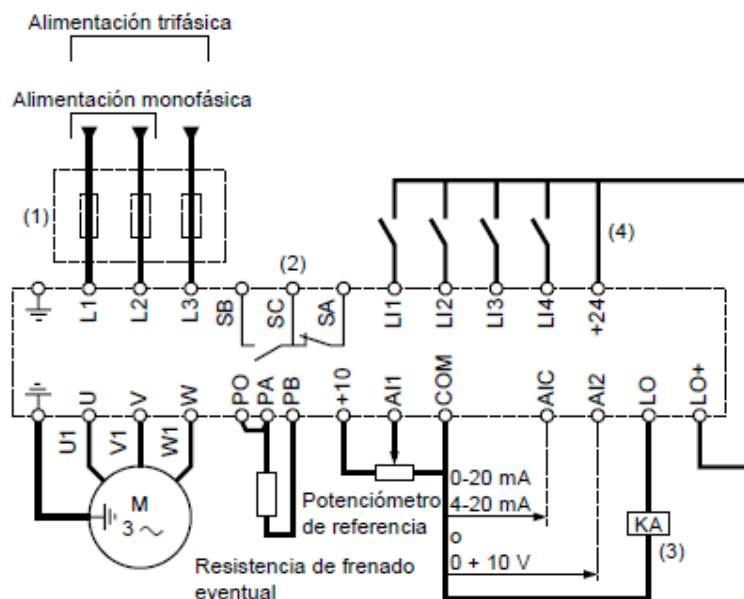


Ilustración 38 Bornes de conexionado del Variador Altivar 18. (25)

Los Bornes SA, Sc y SB, son los contactos normalmente abierto, normalmente cerrado y común del relé de seguridad. Dicho relé está excitado cuando el variador está bajo tensión y no está en fallo.

Debido a imposiciones de diseño, según las cuales se precisa de sentidos de marcha directa e inversa del motor, en función de si se pretende realizar un ensayo o devolver el carro a su posición de origen, se opta por utilizar las entradas digitales del variador de frecuencia.

LI1: Entrada digital de marcha directa, no es asignable a otra función, se activa cuando el contacto de la fuente de voltaje interna del variador de +24V está cerrado.

LI2: Entrada digital de marcha inversa, se activa cuando el contacto de la fuente de voltaje interna del variador de +24V está cerrado. Si LI1 está igualmente cerrado, el primer contacto cerrado tendrá prioridad.

Ambas señales digitales se gobernarán desde una tarjea de relés externa al variador y controladas vía software.

El variador Altivar, consta de dos niveles de acceso a configuración determinados: nivel 1, con ajustes o configuración base, y el nivel 2 que supone una extensión de funcionalidades.

Los ajustes de parámetros de nivel 1 del variador para la puesta en funcionamiento con los que siguen:

bFr: Frecuencia de base: Se elige la frecuencia de red, en el caso que nos atañe, se preselecciona un valor de 50Hz.

ACC²²: Rampa de aceleración lineal, se define para la frecuencia de base, con un valor mínimo seleccionable de 0,1 segundos y un valor máximo de 3600 segundos.

²² En el caso de una configuración de variador en el que se preseccione una frecuencia de base bFr de 50Hz, una rampa ACC de 10 segundos implica una variación lineal de 5Hz por segundo.

dEC: Rampa de deceleración lineal, se define de manera análoga a la rampa de aceleración lineal ACC, con los mismos parámetros de configuración y límites.

LSP: Pequeña velocidad, su valor en hercios oscila entre 0 y HPS o gran velocidad, con una resolución de 0,1 Hz.

HSP: Gran velocidad, su valor en hercios es ajustable entre los límites bFr y LSP, con una resolución de 0,1 Hz.

FLG: Ganancia del bucle de frecuencia, se ajusta en función de la inercia y del par resistente de la mecánica accionada.

- Máquinas con par resistente alto o mucha inercia: reducir progresivamente de 33 a 0.
- Máquinas con ciclos rápidos, bajo par resistente y poca inercia, aumentar progresivamente la ganancia de 33 a 100.

ItH: Protección térmica del motor, se ajusta la protección térmica del motor a la intensidad nominal que figura en la placa de características del motor, pudiendo oscilar entre unos valores de 0,5IN a 1,15IN.

Idc: Corriente de frenado por inyección de corriente automática en la parada, comprendido entre valores máximo la intensidad nominal del motor, y mínimo a 1/4 de la intensidad de protección térmica.

Tdc: Tiempo de frenado por inyección automática en la parada, configurable entre 0 y 25,5 segundos.

Parámetros de segundo nivel

UFt: Ley de tensión/frecuencia.

- L: par constante para motores en paralelo o motores especiales
- P: Par variable
- N: control vectorial de flujo sin sensor para aplicaciones de par constante
- Ndl: ahorro de energía para aplicaciones de par variable estables

Uns: Tensión nominal del motor, por defecto ajustada a la tensión original de alimentación del motor según su placa de características.

FrS: Frecuencia nominal del motor: ajustarla a la frecuencia nominal de funcionamiento del motor, si es diferente de la frecuencia de red ajustada en el parámetro bFr, su valor puede oscilar entre un máximo y un mínimo de 320 Hz a 40Hz.

brA: Adaptación automática del tiempo de rampa de deceleración, si éste provoca una sobretensión en el frenado. Se activa configurando el parámetro como YES.

En el Anexo 1 se expuso la formulación necesaria para el cálculo de los rpm reales de un motor, que se vio que dependen del deslizamiento, de la cantidad de pares de polos, y de la frecuencia de línea del motor

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - s)$$

Ecuación 27

Dado que el sistema de transmisión por correa es síncrono debido a la utilización de una correa dentada, se asume como hipótesis que no existe deslizamiento entre la correa y la polea. La asunción de ésta hipótesis implica que la velocidad lineal del sistema de iluminación es equivalente a la velocidad tangencial en el extremo de la polea.

Conocida la distancia de ensayo y el tiempo de duración del mismo, se obtiene la velocidad lineal del sistema de iluminación y por ende la velocidad tangencial en el extremo de la polea.

$$V_{tangencial} = \frac{e_{ensayo}}{t_{ensayo}} = \frac{5}{5} = 1 \text{ m/s}$$

Ecuación 28

Conocido el diámetro de la polea, el espesor de la banda síncrona, y la velocidad tangencial es posible determinar la velocidad angular en el eje.

$$n = \frac{V_{tangencial}}{R} = \frac{1}{0,038195} = 26.18 \text{ rad/s} = 250 \text{ rpm}$$

Ecuación 29

La frecuencia a la que hay que alimentar el estator para alcanzar una velocidad angular en el eje de 26.18 rad/s, es, por tanto:

$$f_1 = \frac{n \cdot p}{60 \cdot (1 - s)} = \frac{2 \cdot 250}{60 \cdot (1 - 0,05\hat{3})} = 8.8 \text{ Hz}$$

Ecuación 30

La frecuencia f_1 , se ha calculado teóricamente, es optimista confiar en que, a pesar del sobredimensionamiento de las características del motor, el eje gire a la frecuencia angular prevista, por tanto, se ha resuelto obtener una recta de calibración que relacionen la frecuencia seleccionada en el variador con la velocidad lineal real del sistema de iluminación, se ha realizado una regresión lineal con un ajuste por mínimos cuadrados.

Para la consecución de la recta de calibración se ha empleado un tacómetro digital óptico modelo Redpoint entre cuyas especificaciones aporta una precisión de $\pm 0,02\%$.

En el proceso de calibración, se han obtenido 3 tomas de datos para las 10 primeras frecuencias del variador.

f Variador		rpm		rpm	rd/s	Velocidad m/s
10,00	303,60	304,00	303,80	303,80	31,81	1,22
9,00	274,30	274,60	274,50	274,47	28,74	1,10
8,00	245,60	245,50	244,90	245,33	25,69	0,98
7,00	215,80	215,80	216,00	215,87	22,61	0,86
6,00	186,90	187,30	187,20	187,13	19,60	0,75
5,00	157,60	158,10	157,20	157,63	16,51	0,63
4,00	129,80	129,70	130,10	129,87	13,60	0,52
3,00	103,30	103,20	103,20	103,23	10,81	0,41
2,00	70,68	70,86	71,12	70,89	7,42	0,28
1,00	41,25	41,46	41,48	41,40	4,34	0,17
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 7 Resultado toma de datos tacómetro digital

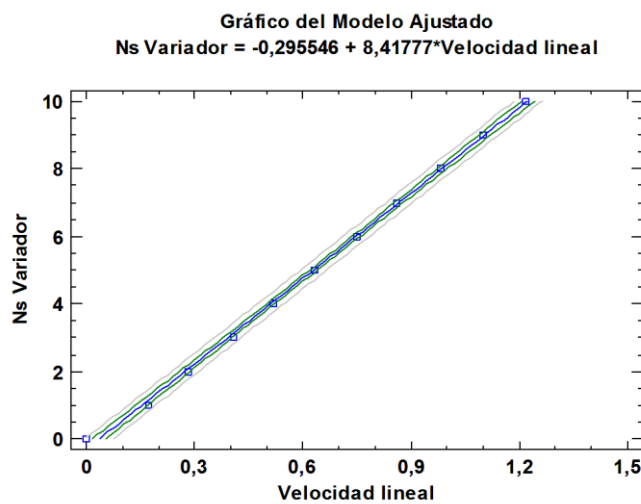


Ilustración 39 Recta de calibración Velocidad (m/s)-Frecuencia Variador (Hz). Statgraphics.

$$f_{1\text{Variador}} = -0,295546 + 8,41777 \cdot V_{\text{lineal}}$$

$$R^2 = 0,999327$$

Error estándar Intercepto = 0,0754

Error estándar Pendiente = 0,0754

P-valor tabla ANOVA = 0,0000

Ecuación 31 Recta de Calibración Velocidad (m/s)-Frecuencia (Hz)

Existe una relación lineal y por tanto para velocidades de 1m/s se preseleccionará LSP para una frecuencia de alimentación del estator a 8.13 Hz.

Se considera acelerar el motor hasta la velocidad de ensayo en el menor tiempo posible, pero con un arranque y frenado suave, lo que se estimará por observación directa, el variador se configurará de manera que la rampa ACC y dEC se preseleccione en un valor de 2s.

Dado que la frecuencia de base del Variador es de 50 Hz, lo que implica, se alcanza la consigna de 8,1Hz en un lapso de 0.017 segundos, tiempo que se considera aceptable para los ensayos a realizar.

Anexo 3 Estructura

La estructura del simulador está formada por perfilería de aluminio comercial.

Dado que se descartó un sistema de guiado constituido por una guía de precisión que hubiese sido anclada al suelo o a una bancada plana de manera sencilla, debido a su elevado precio en contraposición con el precio de perfiles guía de acero, surgió la necesidad de elevar una estructura que permitiese enfrentar los dos perfiles 'Standard M' y elevarlos respecto del suelo para permitir el alojamiento del motor y del sistema de poleas y correas.

Se barajaron dos opciones, la primera una estructura modular constituida por perfiles de aluminio comerciales y la segunda una perfilería de calderería. La primera opción fue la escogida debido a su carácter modular, a la posibilidad de modificar y ampliar la estructura en cualquier momento y a la facilidad en el montaje para el cual basta un juego de taladros y atornilladores.

La estructura está constituida por perfiles de aluminio de sección 40x40 con una acanaladura de 10 mm prevista para la inserción de elementos de unión y demás accesorios. Consta de perfiles de 0,5 metros para los pilares de los pórticos, de perfiles de 1 metro para los dinteles de los pórticos y de perfiles de 2 metros para la unión entre pórticos, con una distancia lateral entre pórticos de un metro.

Las uniones perpendiculares de los perfiles pilar y dintel se han realizado mediante uniones fijas ajustables ocultas en la acanaladura del perfil, constan de tres puntos de anclaje; un casquillo se inserta en la sección de uno de los extremos de un perfil y la unión permite unir otro perfil a 90° en cualquier posición longitudinal. Éste tipo de unión garantiza un óptimo posicionamiento y transmisión de fuerza, sin precisar de mecanizado en los perfiles exceptuando el roscado para el casquillo.

Las uniones de los perfiles viga de 2 metros se han llevado a cabo mediante regletas de unión, con cuatro puntos de anclaje, dos para cada perfil que participa en la unión, se trata de una unión que no precisa de ningún mecanizado.

El resultado de la unión de los perfiles descritos que conforman la bancada, es representado en la siguiente figura modelizada en CAD.



Ilustración 40 Estructura base de SIMGLARE, Inventor

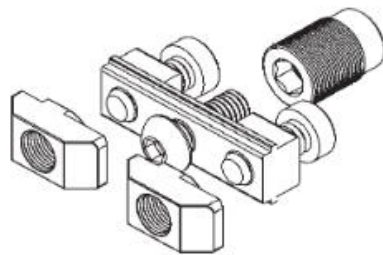


Ilustración 41 Uniones fijas ajustables ocultas. (26)

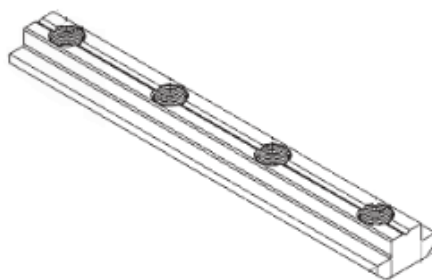


Ilustración 42 Regletas de unión. (26)

Los perfiles de acero que conforman el sistema de guiado se han fijado mediante uniones roscadas a los canales de los perfiles viga de la estructura general. Para ello fue necesaria la mecanización de taladros pasantes en los perfiles de acero, ver anexos 11 y 12.

Para la fijación de la estructura del simulador al suelo, se han empleado pies articulados de poliamida en todos los perfiles pilar.

Para rigidizar la unión con el suelo de los pilares que soportan el peso del motor, de los ejes, de las poleas y los ajustes cónicos, se han empleado unos refuerzos de fijación, con uniones atornilladas a los perfiles y al suelo.

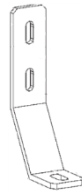


Ilustración 43 Refuerzos de fijación. (26)



Ilustración 44 Representación de las uniones al suelo, formadas por pies rotulados de poliamida y refuerzos de fijación, Inventor.

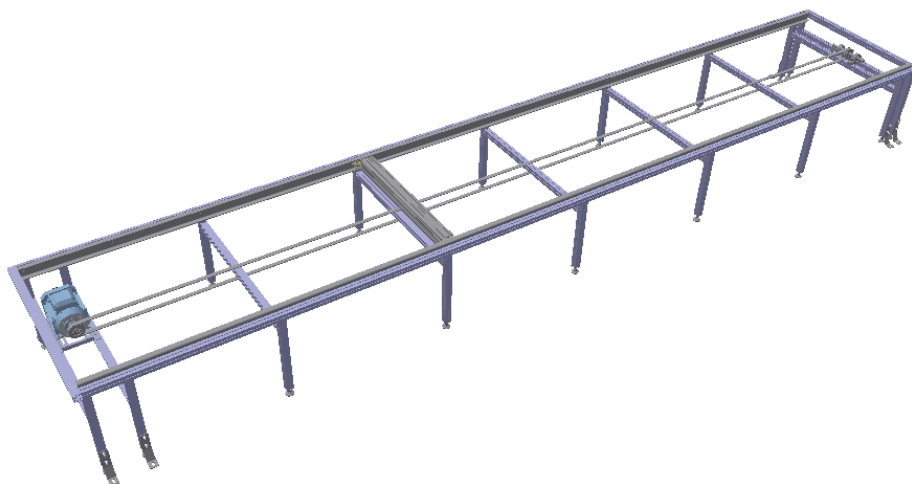


Ilustración 45 Representación esquemática de la estructura final de SIMGLARE, Inventor.

Análisis estático lineal

Este apartado del anexo tiene como objeto realizar un análisis estático lineal del efecto de las cargas estáticas a las que está sometida la estructura.

Los nodos sometidos a mayor carga en la estructura son aquellos que soportan el peso de los perfiles viga de aluminio, que son los perfiles pilar y los extremos de los perfiles viga que conforman los pórticos.

Se utilizará el criterio de plastificación de Von-Mises, se determinará que la estructura es segura si en ningún punto de la misma la tensión normal supera la tensión de límite elástico

Adicionalmente se comprobará la flecha máxima en los vanos entre pórticos y de las vigas de los pórticos.

En primer lugar, se aborda el estudio del pórtico que habrá de soportar el peso del motor.

La representación mediante nodos y barras de dicho pórtico consta de 8 nodos y 7 barras.

Los apoyos de la estructura son esquematizados como empotramientos, dado que la unión del pie articulado y del refuerzo de fijación restringen desplazamientos y giros en los ejes del sistema de referencia.

Las cargas a las que está sometido el pórtico provienen de la acción del peso del perfil de acero sobre los pilares y del peso del conjunto motor, polea, ajuste cónico, correa y soportes de apoyo.

La primera se representa esquematizada como fuerzas puntuales en los nodos 2 y 3.

El peso por unidad de longitud del perfil de acero dado por el fabricante es de $\gamma_l = 5,8 \text{ kg/m}$. Producirá una carga vertical y hacia abajo en los nodos de apoyo de los perfiles pilar cada columna soportará la mitad del peso de cada perfil guía.

$$p_{pg} = \gamma_l \cdot l = 5,8 \text{ kg}$$

$$q_{pg} = 56.84 \text{ N}$$

Ecuación 32

Debido a la excentricidad entre el perfil guía y la sección representada por el nodo 2, la reducción de fuerzas precisa la inclusión de un momento flector en dicho nodo.

$$M_z(2) = q_{pg} \cdot d = q_{pg} \cdot \left(\frac{l}{2} + y_s \right) = 56.84 \cdot (0,02 + 0,0142) = 1.94 \text{ Nm}$$

Ecuación 33

La segunda se esquematiza como una fuerza uniformemente distribuida a lo largo de la longitud del perfil viga afectada que es 0,19 metros.

$$y_{um} = 112,63 \frac{kg}{m}$$

Ecuación 34

$$q_{um} = 1103.79 \frac{N}{m}$$

Ecuación 35

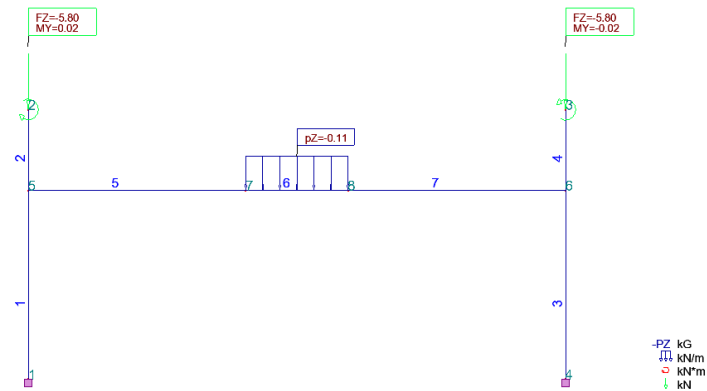


Ilustración 46 Esquema de barras y nodos, cargas del pórtico. Realizado en Robot Structural Analysis.

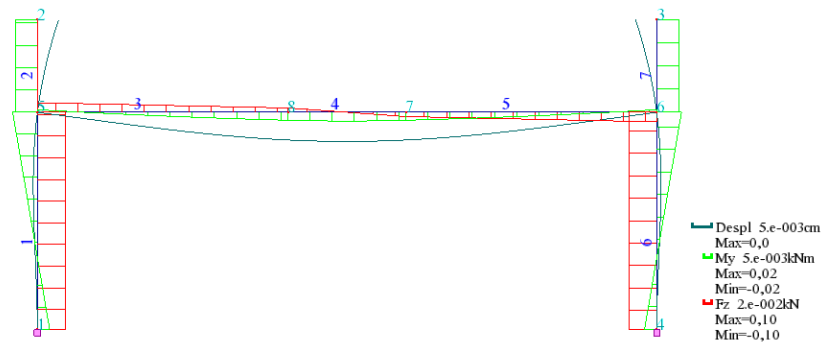


Ilustración 47 Visualización del diagrama de esfuerzos y la deformada del pórtico resultado del análisis estático lineal realizado con Robot Structural Analysis

En cuanto a las tensiones, obviando las tensiones tangenciales:

Barra	Nudo	Caso	S max (MPa)	S min (MPa)
1	1	1	2,54	-2,39
1	5	1	5,02	-4,9
2	5	1	4,49	-4,4
2	2	1	4,48	-4,41
3	5	1	0,58	-0,46
3	8	1	1,66	-1,54
4	8	1	1,66	-1,54
4	7	1	1,66	-1,54
5	7	1	1,66	-1,54
5	6	1	0,58	-0,46
6	4	1	2,54	-2,39
6	6	1	5,02	-4,9
7	6	1	4,49	-4,4
7	3	1	4,48	-4,41

Tabla 8 Tensiones, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis del pórtico.

Es inmediato resolver que:

$$S \leq \sigma_e \approx (40 - 455 MPa)^{23}$$

Ecuación 36

Adicionalmente el cálculo de desplazamientos en los nodos arroja unos resultados en desplazamientos y giros de $u_x = 0 \text{ cm}$, $u_z = 0 \text{ cm}$ $g = 0 \text{ rad}$

En cuanto a las flechas máximas de los distintos perfiles, el análisis estático lineal arroja un resultado de $u_x = 0 \text{ cm}$, $u_z = 0 \text{ cm}$, para todas las barras.

En cuanto al pandeo de alguno de los perfiles columna que trabajan a compresión:

$$P_{cri} = \pi^2 \cdot \frac{EI_{40x40}}{L^2} = \pi^2 \cdot \frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 9 \cdot 10^{-8}}{0,5 \cdot 0,5^2} = 497428,062 N < 100 N$$

Ecuación 37

Las barras pilar no superan la carga crítica de pandeo, por tanto, este no se producirá.

Concluyendo, por tanto, que la estructura pórtico es segura.

²³ Rango tensión de límite elástico para aluminios serie 6000. Extraído de Matweb (54)

Los esfuerzos sobre los nodos

Barra	Nudo	Caso	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
1	1	1	0,11	-0,1	0,01
1	5	1	0,1	-0,1	-0,02
2	5	1	0,07	0	-0,02
2	2	1	0,06	0	-0,02
3	5	1	0,1	0,03	0
3	8	1	0,1	0,01	0,01
4	8	1	0,1	0,01	0,01
4	7	1	0,1	-0,01	0,01
5	7	1	0,1	-0,01	0,01
5	6	1	0,1	-0,03	0
6	4	1	0,11	0,1	-0,01
6	6	1	0,1	0,1	0,02
7	6	1	0,07	0	0,02
7	3	1	0,06	0	0,02

Tabla 9 Esfuerzos, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis del pórtico.

De éste análisis nos interesa trasladar el esfuerzo en los nodos 5 de la barra 1 y 6 de la barra 6 al cálculo de la estructura lateral.

De la estructura lateral, interesa conocer la flecha máxima en los perfiles viga de mayor vano, y la tensión normal máxima en los perfiles pilar que soportan el peso del conjunto motor.

Debido al tamaño de la estructura, su modelización en nodos y barras requiere una gran cantidad de ellos, por eso es que se hace uso de la consideración de simetría para simplificarla, se modeliza mediante 10 nodos y 9 barras.

Los apoyos de los nodos 4 y 9 de la estructura son esquematizados como empotramientos, dado que la unión del pie articulado y del refuerzo de fijación restringen desplazamientos y giros en los ejes del sistema de referencia, mientras que los apoyos de los nodos 1, 2 y 3 son esquematizados como apoyos fijos ya que el pie articulado restringe los grados de libertad en desplazamiento y no en giro.

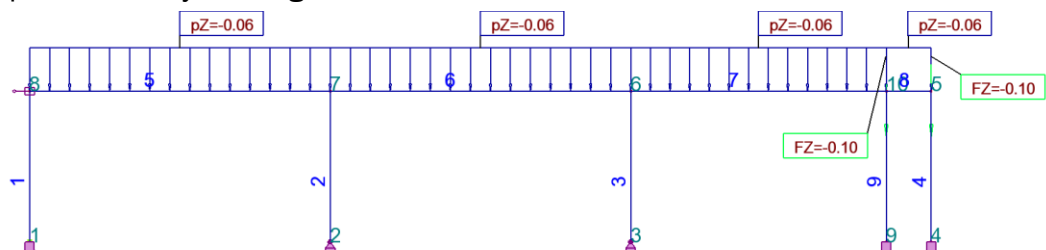


Ilustración 48 Esquema de barras y nodos, cargas de la estructura lateral. Realizado en Robot Structural Analysis.

Debido a las consideraciones de simetría tomadas, el nodo 8, tendrá un apoyo que restringe adicionalmente el giro en el plano xz y el desplazamiento en el eje x. Se ha considerado la mitad del área/inercia del perfil pilar 1.

Las cargas que producen algún tipo de afectación en dicha estructura lateral son además del peso propio de la estructura:

El peso por unidad de longitud del perfil de acero del fabricante, cuyo valor se ha visto previamente y es de $\gamma_l = 5,8 \text{ kg/m}$.

Además, hay que incluir como carga el esfuerzo sobre los nodos 5 y 6 de las barras 1 y 6 respectivamente del pórtico previamente estudiado. Cuyo valor está tabulado en la Tabla 9 de éste anexo, y equivale a $f_{5,1} = f_{6,6} = 0.1 \text{ KN}$

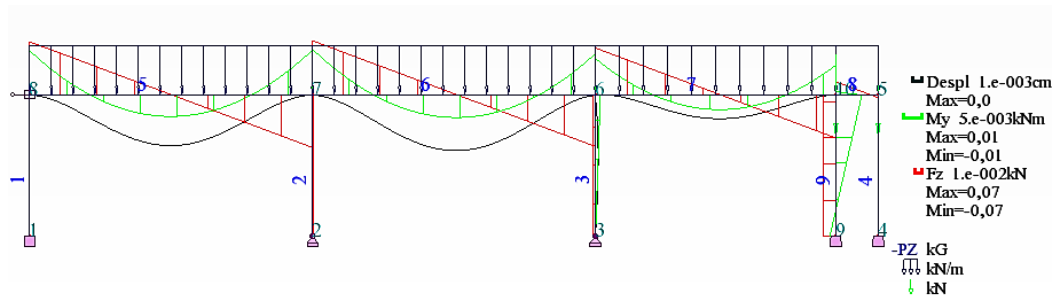


Ilustración 49 Visualización del diagrama de esfuerzos y la deformada de la estructura lateral resultado del análisis estático lineal realizado con Robot Structural Analysis

Barra	Nudo	Caso	S max (MPa)	S min (MPa)
1	1	1	0,12	0,12
1	8	1	0,09	0,09
2	2	1	0,12	0,12
2	7	1	0,14	0,05
3	3	1	0,11	0,11
3	6	1	0,39	-0,22
4	4	1	0,11	0,08
4	5	1	0,02	-0,01
5	8	1	2,68	-2,65
5	7	1	2,72	-2,7
6	7	1	2,77	-2,74
6	6	1	2,5	-2,48
7	6	1	2,2	-2,18
7	10	1	1,8	-1,78
8	10	1	0,21	-0,21
8	5	1	0,01	-0,01

9	9	1	0,3	0,2
9	10	1	0,28	-0,13

Ilustración 50 Tensiones, resultado del cálculo estático lineal con Robot Structural Analysis de la estructura lateral.

Es inmediato resolver que:

$$S \leq \sigma_e \approx (40 - 455 MPa)$$

Ecuación 38

Adicionalmente el cálculo de desplazamientos en los nodos arroja unos resultados en desplazamientos y giros de $u_x = 0 \text{ cm}$, $u_z = 0 \text{ cm}$ $g = 0 \text{ rad}$

En cuanto a las flechas máximas de los distintos perfiles, el análisis estático lineal arroja un resultado de $u_x = 0 \text{ cm}$, $u_z = 0 \text{ cm}$, para todas las barras.

Concluyendo, por tanto, que la estructura lateral es segura.

Anexo 4. Sistema de Guiado

Los rodamientos son elementos de rodadura para movimientos de traslación, los requisitos exigibles a los rodamientos varían en función de la aplicación en la que se va a emplear.

En sistemas de transporte o traslación se requieren buenas características de velocidad y precisión, mientras que en sistemas de medición adquieren más importancia factores como la rigidez y la precisión.

En la elección del sistema de guiado se deben tener en cuenta diversos factores, carga, velocidad, aceleración, carrera, y la influencia de la temperatura, la lubricación, las vibraciones, montaje y mantenimiento.

En un principio se estimó la elección de un sistema de guiado lineal carril-guía, sistema que ocupan un espacio constructivo mínimo, capaz de soportar elevadas cargas, presentan baja fricción y son muy rígidos, sin embargo, su elevado precio tras la solicitud de oferta a distintos distribuidores hizo desestimar esta opción y propició la búsqueda de alternativas.

Como sistema de rodamiento, se optó finalmente por un sistema de guiado lineal compuesto por perfiles laminados en frío y rodamientos combinados de Vulkollan del fabricante Winkel.

Un sistema capaz de absorber altas cargas radiales y axiales estáticas y dinámicas, soportándolos en modo estático y dinámico, de larga vida útil y fácilmente intercambiables.

Entre las características destacadas del rodamiento Winkel Vulkollan, destacan:

Rodamiento PA 6250

Velocidad de desplazamiento hasta 5 m/s.

Aceleración máxima 2,5 m/s²

Rodadura silenciosa debido al recubrimiento de Vulkollan.

Alta resistencia al desgaste de rodadura y rodadura.

Sellado de precisión por ambos lados 2RS, que presentan una menor resistencia a la rodadura.

Están contruidos por cilindros, los cuales están engrasados de por vida para aplicaciones no continuas o de un turno.

El fabricante garantiza que no existe ningún tipo de reducción de la vida útil del rodamiento en aplicaciones normales.



Ilustración 51 Rodamiento PA 6250
(16)

Perfiles en U

Alta precisión de acabado.

Cantos romos.

Superficie pulida.

Acero S450.



Ilustración 52 Perfil laminado en frío Standard M (16)

Dimensionado

Para el dimensionado del rodamiento y el perfil, se debe prestar atención a la capacidad de carga máxima.

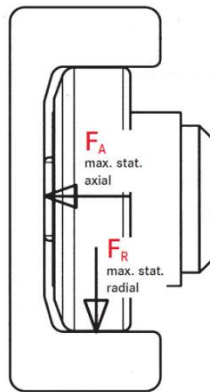


Ilustración 53 Esquematación cargas radial y axial sobre el rodamiento. (16)

Modelo	F_R [kN]	F_A [kN]	Reducción de los coeficientes de carga con:			Peso [kg]	Perfil
			1 m/s	2 m/s	3 m/s		
PA 6250	2300N	600N	0%	-20%	-30%	0,27	Standard M

Tabla 10 Detalle de los valores de carga admitidos para el rodamiento PA 6250. (16)

Según se ha diseñado el sistema de guiado lineal el travesañ o carro no ejerce fuerza axial sobre el rodamiento por lo que no se ha tenido en cuenta ésta limitación.

En cuanto a la fuerza radial estática, la limitación impuesta por el rodamiento es de 2300 N. El conjunto de fuerzas que actúan sobre el perfil guía comprende: el peso de los propios rodamientos, el peso del perfil que hace la función de carro y el peso del sistema de iluminación. La correa en este caso es soportada por dos puntos de apoyo, las dos poleas dentadas por lo que no se tendrá en cuenta en el dimensionamiento de la fuerza.

El carro guía esquemáticamente, se puede simplificar como una viga biapoyada con carga en el centro, la cual trasmite la carga a los apoyos según:

$$F_{apoyoi} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \cdot g$$

Ecuación 39

$$F_{Rapoyoi} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \cdot g = (4 \cdot m_{PA6250} + m_{p80x80} + m_{s.ilu}) \cdot g = 46.35 \text{ N}$$

Ecuación 40

Teniendo en cuenta que cada apoyo es constituido por dos rodamientos dispuestos simétricamente con el fin de presentar dos puntos de apoyo radiales y dos puntos de apoyo axiales en cada lado para anular la posibilidad de vuelco del carro, cada apoyo soportaría la mitad de la fuerza radial previamente calculada.

Dado que la limitación del valor de carga en fuerza radial es de 2300N, el sistema está sobredimensionado con un factor de seguridad de 109.

Dado que el sistema no es un sistema estático, si no dinámico, se ha tenido en cuenta este aspecto para su dimensionamiento.

La ficha técnica del rodamiento describe una reducción de los coeficientes de carga del 0%, 20% y 30% para velocidades de desplazamiento de 1 m/s, 2 m/s y 3 m/s respectivamente.

En ningún caso los ensayos excederán velocidades de 3m/s, para los que la carga radial máxima admitida de cada rodamiento recomendada es de 1610 N, estando el sistema sobredimensionado con un factor de seguridad de 76,5.

En cuanto al perfil laminado en frío, el fabricante establece una presión máxima de 900 N/mm² para evitar deformaciones. Suponiendo una superficie de contacto entre rodamiento y perfil de 1 mm de espesor por una profundidad de 18 mm coincidente con el ancho del rodamiento, la presión ejercida por cada rodamiento sobre el perfil queda dimensionada:

$$P = \frac{F_{Rapoyoi}}{S} = 1,17 \text{ N/mm}^2$$

Ecuación 41

Queda demostrado de nuevo el sobredimensionamiento del sistema de guiado para las solicitaciones de carga tanto estáticas como dinámicas a las que va a ser sometido.

Anexo 5. Transmisión mecánica

El prototipo de SIMGLARE ha de propulsar un sistema de iluminación a través de un guiado lineal y recto, en consecuencia, se ha de diseñar un sistema de transmisión mecánica para el transporte.

La estrategia para la selección del método de transmisión más adecuado para el proyecto parte en primer lugar de analizar las funciones que se requieren al sistema y delimitarlas:

- a.** El sistema de transporte cubrirá una longitud de 5 metros
- b.** El sistema de transporte será capaz de alcanzar velocidades mínimas de 1 metro por segundo.
- c.** El sistema de transporte permitirá aceleraciones y deceleraciones desde velocidad 0 hasta velocidad operativa o viceversa en longitudes de 0,5 metros como mínimo, es decir, permitirá rampas de aceleración o deceleración de 0,5 m/s².

Debido a las limitaciones en las capacidades constructivas, y al cumplimiento del requerimiento de sencillez de prototipo, se ha optado por una banda dentada, o banda de sincronización, que no se estira ni desliza, por tanto, tienen la capacidad de transmitir potencia a una relación constante de velocidad inicial, además operan en intervalos muy amplios de velocidades y tienen eficiencias del 97% al 99%²⁴. No requieren lubricación.

En cuanto a la longitud de la correa, en su cálculo se emplea la formulación expuesta en (27) para bandas planas.

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) = 12,28 \text{ m}$$

Ecuación 42

Siendo el ángulo de contacto el mismo para ambas poleas:

$$\theta_D = \theta_d = \pi + 2\text{sen}^{-1} \frac{D + d}{2C} = 3,63 \text{ rad}$$

Ecuación 43

Teniendo en cuenta que a pesar de que la distancia entre centros aproximadamente es de 6 metros, se requiere una longitud de banda de 12,15 metros, por tanto, se determina comprar 12,5 metros de banda.

La tensión de la banda es un factor importante en la precisión de posicionamiento. La tensión inicial debe ser tal que el ramal flojo mantenga tensión cuando el sistema esté bajo carga. Por tanto, la tensión inicial deberá

²⁴ Elementos mecánicos flexibles, (27)

ser mayor que la máxima fuerza circunferencial aplicada por el sistema de accionamiento. Valores recomendados de tensión de 1,1 a 1,2 veces la fuerza tangencial.²⁵

El sistema de transmisión cubre una longitud limitada, acelera desde 0 y decelera. En consecuencia, hay que tener en cuenta la fuerza de inercia en la aceleración y en el frenado.

En primer lugar, hay que hacer una estimación del esfuerzo tangencial necesario sobre la polea de accionamiento, del que se deducirá la potencia de accionamiento.²⁶

El conjunto de resistencia al movimiento del sistema de propulsión se puede resumir en:

- Resistencias principales debidas al rozamiento entre rodamiento y perfil
- Resistencias secundarias de inercia debido a la aceleración el sistema de iluminación

No se tendrán en cuenta las resistencias principales debidas al giro de los rodamientos, ni resistencias secundarias debidas al efecto de enrollamiento de la banda sobre las poleas síncronas.

La fuerza tangencial en la polea de accionamiento del transportador, se obtiene sumando todas las resistencias:

$$F_u = F_H + F_S$$

Ecuación 44

Las resistencias principales F_H , pueden determinarse de modo simplificado con la ayuda de un coeficiente ficticio de rozamiento. Aplicando la ley de rozamiento de Coulomb;

$$F_H = \mu \cdot N$$

Ecuación 45

y mediante producto del coeficiente ficticio de rozamiento μ , la longitud de transporte L y por la suma de las fuerzas verticales por metro lineal resultante de todas las fuerzas en movimiento, resultando:

$$F_H = \mu \cdot g[m_{s,ilu} + m_C + m_{zred}]$$

Ecuación 46

²⁵ Synchronous drives for linear motions (28)

²⁶ El método de estimación de la fuerza tangencial del sistema de accionamiento se inspira en (35), (42) y Synchronous drives for linear motions (28).

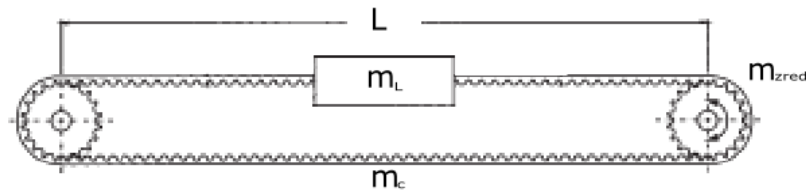


Ilustración 54 Esquematzación sistema de transporte. Synchronous drives for linear motions (28).

Para calcular la masa de la polea síncrona²⁷ (28):

$$m_z = \frac{(d_K^2 - d^2) \cdot \pi \cdot B \cdot \rho}{4 \cdot 10^6} = \frac{(79.39^2 - 25^2) \cdot \pi \cdot 30 \cdot 7.85}{4 \cdot 10^6} = 1,06 \text{ kg}$$

Ecuación 47

- La masa reducida²⁸:

$$m_{zred} = \frac{m_z}{2} \left[1 + \frac{d^2}{D^2} \right] = \frac{1,06}{2} \left[1 + \frac{25^2}{76,39^2} \right] = 0,58 \text{ kg}$$

Ecuación 48

- Diámetro polea

$$D = \frac{\text{numero de dientes} \cdot \text{paso}}{\pi} = 76,39 \text{ mm}$$

Ecuación 49

Masa de la correa:

$$m_c = \gamma_c \cdot L = 0,222 \cdot 12,239 = 2,72 \text{ kg}$$

Ecuación 50

Masa del sistema de iluminación:

$$m_{s.ilu} = (m_{rod} + m_{p80x80} + m_{chapa} + m_{LED})$$

Ecuación 51

Masa total del sistema:

$$m_T = \sum m_{s.ilu} + m_c + m_{zred} = (m_{rod} + m_{p80x80} + m_{chapa} + m_{LED}) = 9,46 \text{ kg}$$

Ecuación 52

²⁷ Se incluye la masa del ajuste cónico.

²⁸ La masa reducida se refiere a la masa equivalente con la misma inercia a la línea de acción de la banda dentada.

Siendo la fuerza o resistencia principal, por tanto:

$$F_{roz} = \mu \cdot g \cdot [m_{s,ilu} + m_c + m_{zred}] \\ = 0,05 \cdot 9.81 \cdot (9,46 + 2,72) + 0,05 \cdot 9.81 \cdot (0,49) = 6,21 N$$

Ecuación 53

Dado que el sistema de transmisión, acelera y decelera en cada ensayo desde velocidad inicial nula hasta la velocidad de ensayo, se han de tener en cuenta las fuerzas de aceleración para el sistema (29). Por decisión del diseñador, se determina que la aceleración y deceleración del sistema es la misma y de 62 m/s^2 , por tanto:

$$\sum F = m \cdot a_a = m \cdot a_f = 584 N$$

Ecuación 54

El esfuerzo tangencial es resultante de la acción conjunta de las fuerzas principales y las secundarias vistas:

$$F_u = F_H + F_S = 590 N$$

Ecuación 55

Potencia de accionamiento del transportador se obtiene a partir del esfuerzo tangencial y la velocidad de ensayo prevista que será de 1 m/s .

$$P_A = F_u \cdot v = 590 \text{ w} \\ T = P_A / n = 590 / (26,18) = 22,54 \text{ Nm}$$

Ecuación 56

El par de la carga es inferior al nominal del motor ABB empleado y a una velocidad inferior a la nominal. Dado que $C/C_n = 6,3$, se concluye que, para el arranque, el conjunto motor y variador es capaz de entregar el par necesario al sistema para acelerar y frenarlo en el tiempo establecido. Está sobredimensionado pero su elección se hizo en base a que no estaba en uso y por tanto no era necesario un presupuesto para la adquisición de un motor específico.

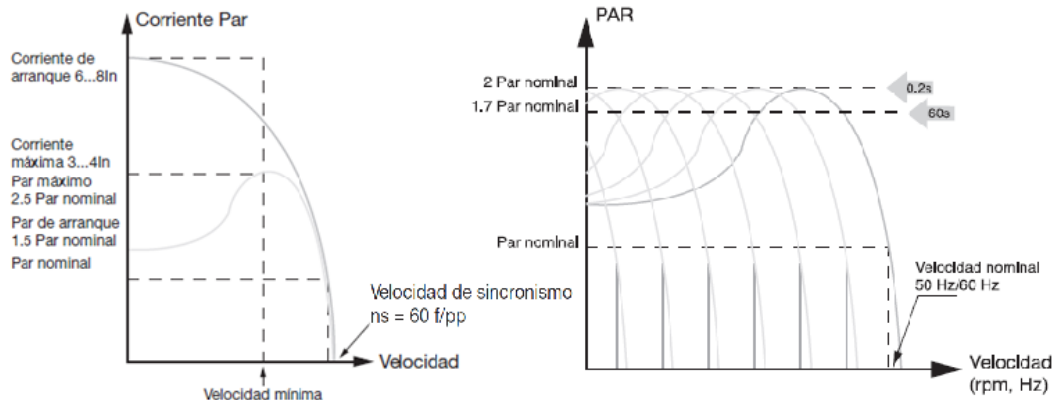


Ilustración 85. Curvas Par motor en motores asíncronos, y variación de par debido a convertidor de frecuencia. (30)

Componentes

Se ha hablado de los elementos componentes de la polea motriz, en cuanto a la parte conducida, se compone de:

- a.** Polea HTD 30 8M 30 TL 1615 de Indarbelt.



Ilustración 55 Polea HTD 30 8M 30 TL 1615. (15)

Anchura de la correa	30 mm
Número de dientes	30
Paso (mm)	8 mm
Tamaño de eje cónico	1615
Tipo de polea síncrona	8M

Tabla 11 Características polea HTD 30 8M 30 TL 1615. (15)

- b.** Ajuste eje cónico 1615/25 de Optibelt



Ilustración 56 Ajuste Cónico 1615/25. (15)

- c.** Eje, detallado en los planos presentados en el Anexo 12.

Anexo 6. Sistema de Iluminación

El sistema “SIMGLARE” ha de reproducir a escala la fotometría de los faros de un vehículo.²⁹

El haz de cruce geométricamente ha de cumplir por normativa:

Respecto a la posición: Los bordes interiores de las superficies aparentes en la dirección los ejes de referencia distarán entre si 600 mm como mínimo, Esto no se aplica, sin embargo, a los vehículos de las categorías M1 y N1; para las demás categorías de vehículos de motor esta distancia podrá reducirse hasta 400 mm si la anchura máxima del vehículo es inferior a 1300 mm.

En altura: entre 500 mm y 1200 mm por encima del suelo. Para los y hasta los 1500 mm.

No se contemplarán los ajustes de orientación en los ejes vertical y horizontal, a pesar de que si están contemplados en el reglamento nº 48.

Para determinar completamente la geometría a tener en cuenta en la escala, es imprescindible tener en cuenta la dimensión de un carril de carretera.³⁰ Se toma como referencia una carreta convencional de velocidad de proyecto 90 y 80 km/h cuyos carriles tienen un ancho de 3,5 metros.

La disposición general 5 relativa a las especificaciones generales del Reglamento nº 113³¹ en cuanto a haces simétricos, expone:

Prescripciones del haz de cruce:

En el caso de luces equipadas con módulos LED, el flujo luminoso objetivo total de todos los módulos LED emisores del haz de cruce principal, se les aplicarán los siguientes límites mínimos y máximos:

	Faros Clase A	Faros Clase B	Faros Clase C	Faros Clase D
Haz de cruce principal mínimo	150 lm	350 lm	500 lm	1000 lm
Haz de cruce principal máximo	900 lm	1000 lm	2000 lm	2000 lm

Tabla 12 Máximos y mínimos de flujo luminoso total de todos los módulos LED emisores del haz de cruce principal. (30)

²⁹ (30)

³⁰ (39)

³¹ (30)

La intensidad luminosa del faro deberá medirse a 25 metros de distancia con una célula fotoeléctrica cuya área útil esté comprendida en un cuadrado de 65 mm de lado. El punto HV es el punto central del sistema de coordenadas con un eje polar vertical. La línea h es la horizontal que pasa por el punto HV.

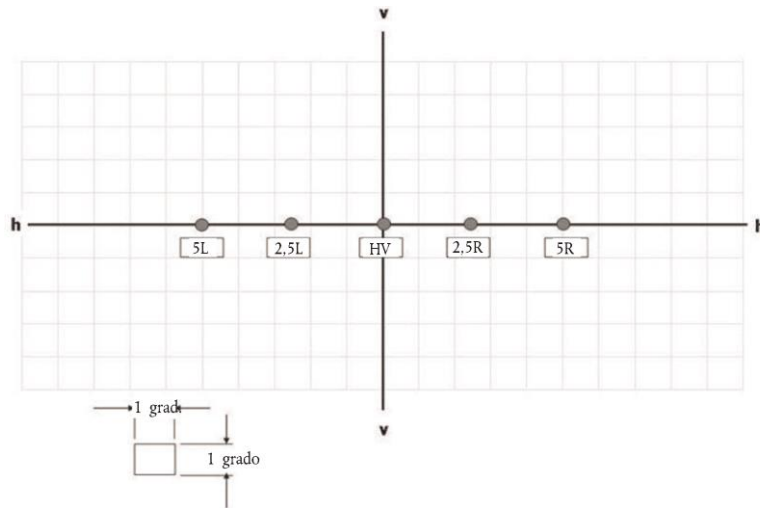


Ilustración 57 Faro de haz asimétrico para circulación por la derecha. Dimensiones en mm con la pantalla a 25 m de distancia. (30)

Las disposiciones 6.2.5.1, 6.2.5.2, 6.2.5.3 establecen los niveles de intensidad luminosa requeridos en candelas para las distintas categorías de faros, en función de la ubicación de los puntos, líneas o zonas de ensayo en los que se ha tomado la medida. Los valores máximos por categoría independientemente de dicha ubicación son:

- Para los faros de clase A, 1100 cd.
- Para los faros de clase B, 2200 cd
- Para los faros de clase C, 2450 cd
- Para los faros de clase D, 4900 cd
- Para los faros de clase E, 4900 cd

La disposición general 6.1 relativa a las especificaciones generales del Reglamento nº 112³² en cuanto a haces asimétricos, expone:

- Prescripciones del haz de cruce:

La iluminación de la pantalla por el haz de cruce deberá cumplir los requisitos siguientes:

³² (49)

- La disposición 5.3.2.3 expone que el flujo luminoso objetivo total de todos los modules LED responsables del haz de cruce principal, será igual o superior a 1000 lúmenes.
- La disposición 6.2.4 expone requisitos de intensidad luminosa en diversos puntos de ensayo respecto de las ubicaciones representadas en la ilustración A-2, en el carril opuesto al de circulación, especifica mínimos de intensidad luminosa de 250 cd y 1750 cd para puntos B50L y BR y máximos de 10600 cd y 13200 cd para los puntos 75L y 50 L.³³

Para la elección del sistema iluminante, en primer lugar, se analizó la posibilidad de emplear faros de vehículo reales, en concreto unos faros de un vehículo Renault Clio, con iluminantes halógenos H7 de 55w con un flujo luminoso de 1500 lumens para carretera, cedido para el proyecto. Esta alternativa se rechazó por dos razones:

- Se han de escalar las distancias de una vía convencional de doble sentido, cuya dimensión en anchura es de 7 metros a 1 metro. No se puede escalar la distancia angular entre la línea de visión y el haz de luz, ya que ésta es un parámetro interviniente en el cálculo de la luminancia de velo, de la que depende directamente el deslumbramiento perturbador y molesto, que es lo que se pretende reproducir con el simulador, por lo tanto, se tiene que escalar la distancia transversal para mantener el ángulo constante.

La premisa anterior supone que la distancia entre faros una distancia de 5 metros debería ser de 0,012 metros, lo cual es irreproducible constructivamente ya que la dimensión principal de los faros del vehículo incluida la moldura es de 0,49 metros.

³³ La letra L significa que el punto se sitúa a la izquierda de la línea V-V. Los puntos señalados son aquellos que se sitúan en el carril opuesto al de circulación, y por tanto aquellos que son representativos del deslumbramiento que se pueda inducir en un conductor aproximándose.

- En segundo lugar, la moldura del faro de un vehículo, tiene una geometría resultante de un proceso de inyección, en la cual los anclajes para su sujeción, se sitúan en planos inclinados entre sí, a diferentes alturas y profundidades, por lo cual hubiese sido necesario mecanizar un utillaje específico para la sujeción de los faros, con el consecuente incremento en el presupuesto.

```
%Cálculo de distancias en el escalado de la geometría

%Cálculo de distancias en el escalado de la geometría
a=3.5;%Distancia transversal carril Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras
%Definición de magnitudes
a=3.5;%Distancia transversal carril Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras
d=1.2;%Distancia transversal pupila y fuente deslumbrante izquierda
ac=1.2;%Distancia transversal entre los faros de cruce vehículo Reglamento nº48 de la CEE
a1=a/2+ac/2+(a/2-ac/2);%Distancia transversal pupila y fuente deslumbrante izquierda
a2=ac/2+a/2+(a/2+ac/2);%Distancia transversal pupila y fuente deslumbrante derecha
%Calcular los ángulos
disp('Obtener el Ángulo formado por la dirección visual del observador')
disp('Defino el vector de distancia L, de la fuente de deslumbramiento al observador')
L=sym('L');
Lsup=0;
Linf=500;
contL=500;
L=linspace(Linf,Lsup,contL);
disp('Calculo el ángulo theta1');
disp('Calculo el ángulo theta2');
for i=1:length(L)
    theta1(i)=atan(a1/L(i));
    theta2(i)=atan(a2/L(i));
end %Creo vector de distancia longitudinal escalado a 7 metros
L_e=sym('L_e');
%Creo vector de distancia longitudinal escalado a 7 metros
L_e=sym('L_e');
L_esup=0;
L_einf=7;
contL_e=500;
L_e=linspace(L_einf,L_esup,contL_e);
disp('Calculo vector de distancias entre persona y faro para cada ángulo y altura');
%Creo vector de distancias transversales entre pupila y fuentes de deslumbramiento
disp('Calculo vector de distancias entre persona y faro para cada ángulo y altura');
a1_e(i)=L_e(i)*tan(theta1(i));
a2_e(i)=L_e(i)*tan(theta2(i));
end s=sprintf('La distancia transversal escalada entre faros es: %f',a_e);
disp(s)
```

Ilustración 58 Esquematización distancias y ángulos a escalar en el diseño del simulador

En consecuencia, se ha optado por un sistema iluminante led, modelo Aurora GD10, fabricante Galad, cedido para el proyecto, del que se destacan las características:

- Flujo luminoso 2075
- Potencia 28 w $\cos(\Phi) = 0,95$
- Temperatura de color 3000K, similar a las lámparas halógenas.
- Su curva de distribución luminosa en el plano C90-C270 indica un máximo de 2700 cd/klm para ángulos de apertura de 0 con una regulación al 100% en tensión. Por tanto, es un iluminante con una intensidad luminosa de 5700 cd, que a 6 metros supone una iluminancia de:

$$E = E_v = \frac{I}{d^2} = 155,625 \text{ lux}$$

Ecuación 57

Valor de iluminancia superior a los 10,66 lux y los 143.69 lux que delimitaron los ensayos en circuito cerrado cedidos por el IOBA con faros halógenos y de xenón respectivamente, por tanto, aún en la máxima distancia posible de ensayo, SIMGLARE tiene capacidad de generar las curvas iluminancia distancia requeridas.

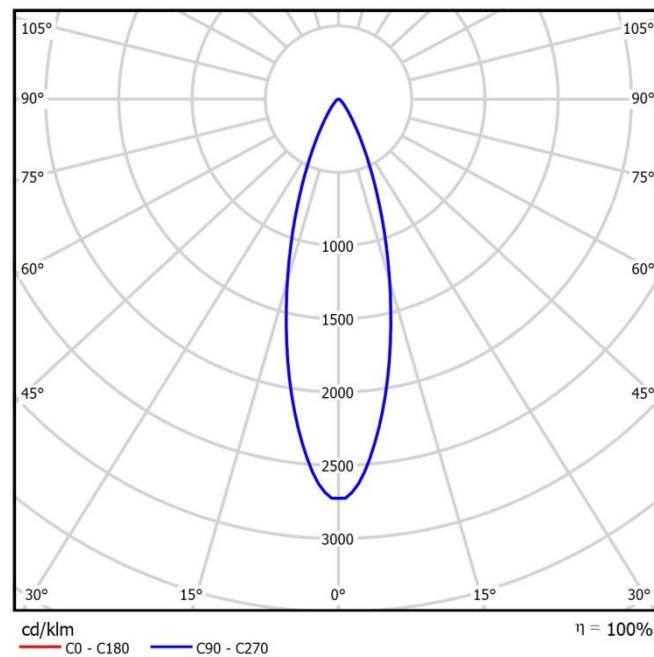


Ilustración 59. Curva de distribución luminosa, plano C90-270. (17)

Medición	1	2	3	4	5	6
Distancia(m)	0,453	1,453	2,453	3,453	4,453	5,453
Iluminancia (lux)	26640	2712,7	953,4	482,2	290,6	194,2
Intensidad luminosa (cd)	5466.76	5727.07	5736.807	5749.37	5762.37	5774,06

Tabla 13 Iluminancia e Intensidad luminosa en función de la distancia

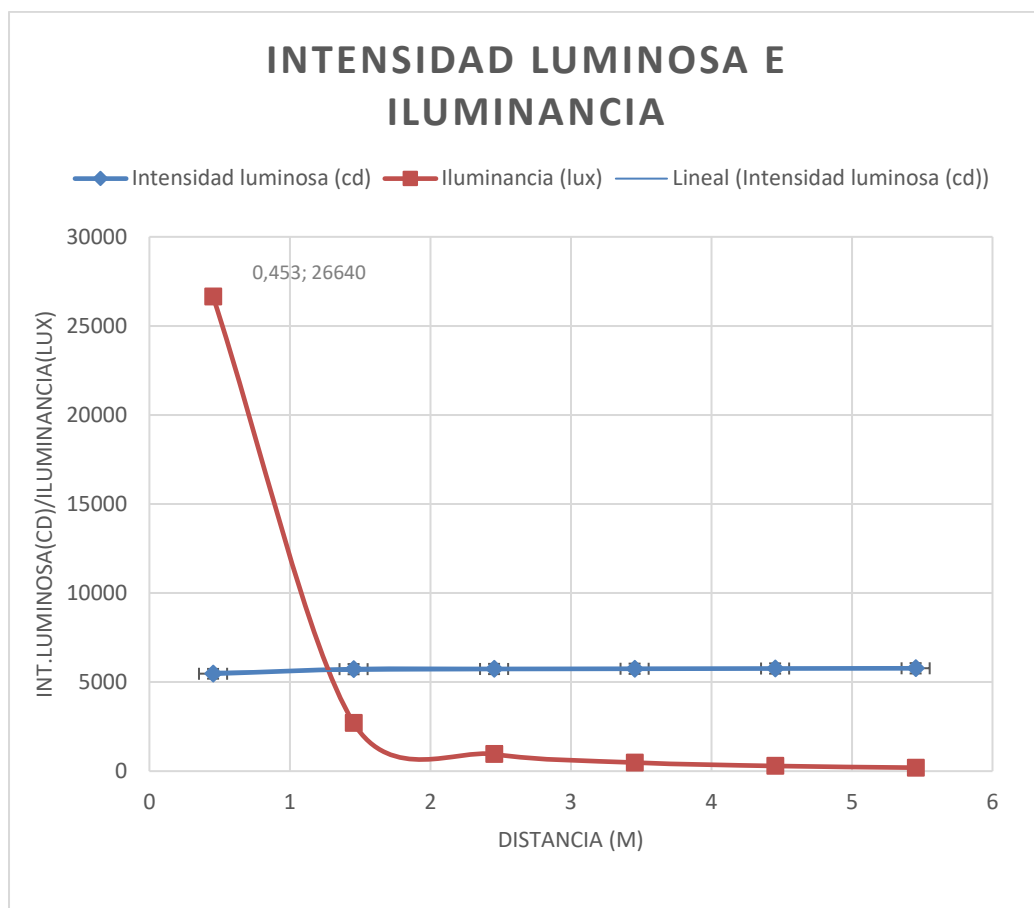


Ilustración 60 Graficado de los valores de Tabla 13 Iluminancia e Intensidad luminosa en función de la distancia del iluminante Aurora GD10.

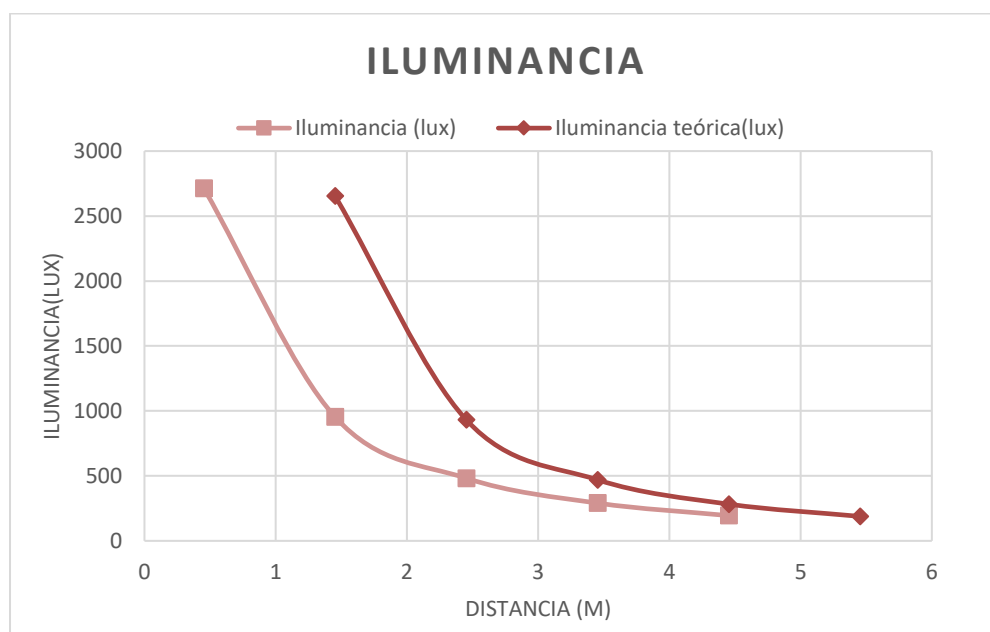


Ilustración 61 Iluminancia 4 puntos de medida y teórica, del iluminante Aurora GD10

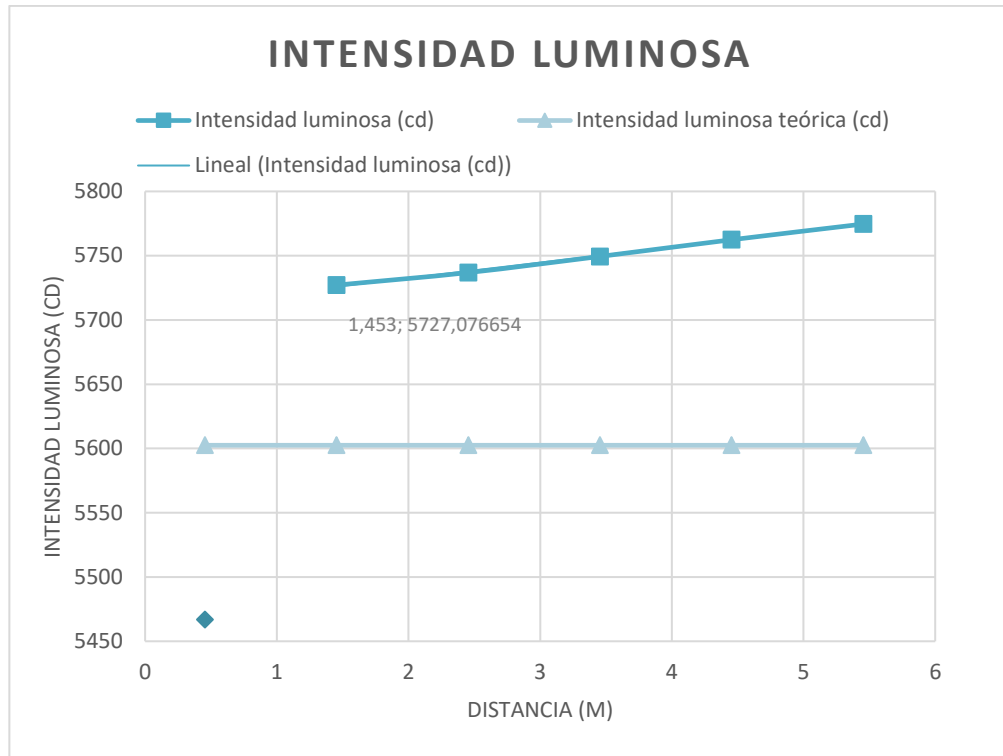


Ilustración 62 Intensidad luminosa 4 puntos de medida y teórica, del iluminante Aurora GD10

Graficando los resultados en la ilustración 60, la Ilustración 63 y la Ilustración 62 de la toma de datos con un luxómetro modelo CL-200A de Konica Minolta de iluminancia en distintos puntos de medida, y mediante la Ecuación 6 de la intensidad luminosa, es inmediato observar:

- El crecimiento inverso cuadrático de la iluminancia en función de la distancia, exceptuando el punto 0,453m; 26640lux, el cual no cumple que la distancia hasta el iluminante sea 5 veces mayor que el tamaño en la dirección principal del iluminante
- Que la intensidad luminosa del foco es lineal y constante con la salvedad de presentar un error del 3% respecto a lo esperado teóricamente, lo cual se ha comprobado está motivado por la reflexión del haz de luz en la superficie de la correa de transmisión.

Queda demostrado por tanto que en cuanto a los niveles máximos y mínimos de flujo luminoso e intensidad luminosa requeridos para faros con haz de cruce simétricos y asimétricos, el iluminante elegido Galad Aurora GD10 ofrece unos niveles comprendidos en dicho rango: $\Phi=2075$ lm, $I=2700$ cd/klm, y por ende su utilidad para el fin que le es requerido.

Dado que se pretende reproducir la curva iluminancia distancia de la aproximación de un vehículo en sus últimos 50 metros o 5 segundos, que son en los que se ha visto que la iluminancia adquiere valores representativos, el sujeto que se sitúa frente a la fuente deslumbrante, tendrá que situarse a una distancia transversal equivalente a la escalada por el vehículo.

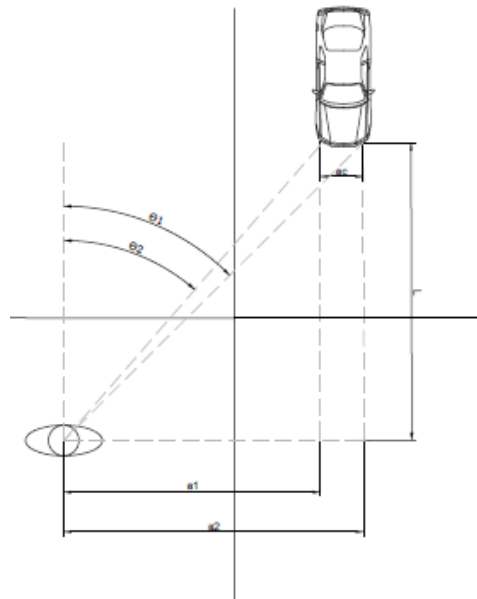


Ilustración 63. Representación esquemática de la geometría a escalar. Elaboración propia.

Una longitud L de 50 metros se quiere reducir a 7 metros a razón de 6 metros de simulador y a 1 metro de distancia entre simulador y sujeto a ensayo, manteniendo los ángulos θ_1 y θ_2 constantes, la distancia transversal a_1 o a_2 ha de reducirse a 0,1225 metros y 0,1645 metros respectivamente. Con lo que el ensayo comienza con $\theta_{1inicial} = 1^\circ$ y finaliza con $\theta_{1final} = 83^\circ$, lo que trasladado a la curva fotométrica del faro implica 5602,5 cd y 500 cd en cada caso, que traducido a luminancia teniendo en cuenta la superficie aparente de la lámpara según la Ecuación 3 dan lugar a luminancias de $3,17 \cdot 10^5 \text{cd/m}^2$ y de $2,32 \cdot 10^5 \text{cd/m}^2$ respectivamente.

Valores inferiores a los $3,2 \cdot 10^5 \text{cd/m}^2$ que es el valor límite para daño retinal debido a exposiciones prolongadas según (20).

$$L_{\theta=1^\circ} = \frac{5602,5}{\pi \cdot 0,075^2 \cdot \cos(1)} = 3,17 \cdot 10^5 \text{cd/m}^2$$

En cuanto a las iluminancias:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \theta}{h^2}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \theta \cdot \sin \theta}{h^2}$$

$$E = \sqrt{E_H^2 + E_v^2}$$

$$E_{\theta=1} = 155,57lx, E_{\theta=83} = 0,206lx$$

Ecuación 58

Para evitar que a medida que disminuya la distancia, la iluminancia disminuya debido a la fotometría del iluminante, se le colocará un difusor con prismas que aumenta en el eje horizontal el ángulo de apertura para la máxima intensidad luminosa. Ver anexo 8.

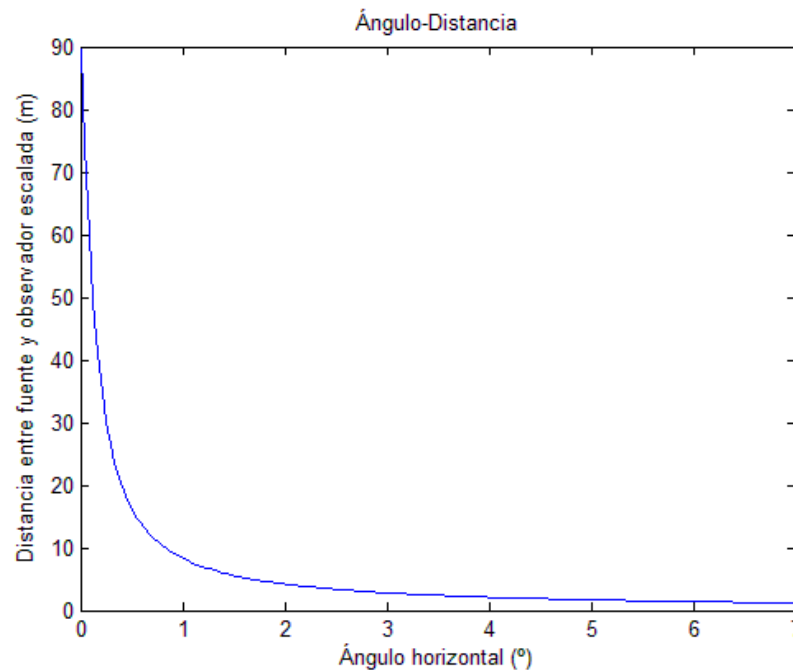


Ilustración 64 Ángulo en proyección horizontal en función de la distancia

La ilustración 64 muestra el ángulo horizontal escalado desde una distancia de 167 metros a una distancia de 7 metros, el cual crece lentamente, menos de 10° hasta una distancia de 0,5 metros y después aumenta drásticamente. El ángulo vertical no se tendrá en cuenta, se asume que es constante.

La geometría y dimensiones del iluminante se detallan en la siguiente ilustración:

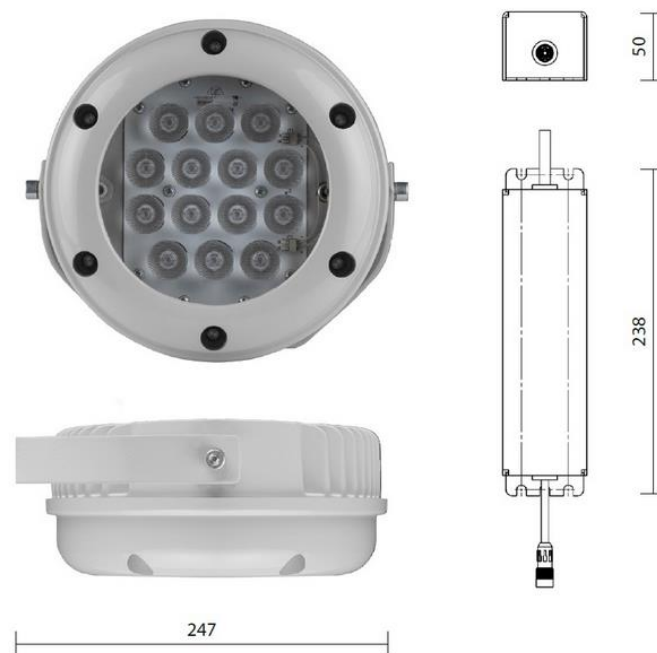


Ilustración 65 Geometría y dimensiones del Aurora GD10. (17)

Es necesario un driver LED externo para entregar potencia a la cadena de LED que componen el Aurora GD10, dado que estos funcionan con corriente continua, y el cuadro eléctrico entregará corriente alterna. La característica diferenciadora de los LED drivers respecto de una fuente de alimentación convencional es que el driver es capaz de responder a cambios en las necesidades de alimentación suministrando siempre un flujo constante de energía.

Entre las dos formas de alimentación del LED, se ha escogido alimentación por corriente constante frente a la alternativa de tensión constante, debido a su capacidad de mantención de corriente a la salida con independencia del número de LED conectados y sin tener que calcular una resistencia limitadora de corriente.

Adicionalmente, y en base a uno de los requisitos fundamentales del sistema de iluminación de SIMGLARE que es el de la alimentación y regulación de su flujo luminoso, es necesario dotar al sistema de un LED driver de corriente constante y que admita regulación. Dado que el control del sistema se ha proyectado mediante el uso de una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments modelo USB 6002, la cual dispone de salidas y entradas analógicas y digitales, y no de contador, se ha optado por una solución regulable 1-10 V para el LED driver, que se comandará mediante una de las salidas analógicas de la tarjeta NI USB-6002.

Se ha optado por un driver LED marca Lightech modelo LED 36 CC 700 P240 D, cedido para el proyecto cuyas características destacadas son:

- Primario:
 - V_{in} 220-240V a 50-60-Hz
 - I_{in} 0,2A
- Secundario:
 - I_{out} 0,7A DC(12-48V)DC
 - P_{max} 36VA
- Regulación 1-10V

Siendo su potencia aparente suficiente para la carga que supone el iluminante escogido para tal fin:

$$P = |S| \cdot \cos(\varphi) = 0,95 = 34,2W > P_{AURORA\ G10} = 28W$$



Ilustración 66 LED Driver LED 36 CC 700 P240. (31)

Anexo 7 Cuadro Eléctrico, circuitos de potencia y control

SIMGLARE precisa de un cuadro eléctrico para posibilitar su funcionamiento.

La ITC-BT-32 del reglamento electrotécnico para de baja tensión establece:

- a.** Que la instalación se podrá poner fuera de servicio mediante un interruptor de corte omnipolar general de accionamiento manual, e instalado en el circuito principal, fácilmente accesible desde el suelo y en el mismo recinto donde se sitúe el equipo eléctrico de accionamiento.
- b.** El equipo eléctrico ha de protegerse mediante uno o más dispositivos automáticos de protección en caso de sobreintensidades.
- c.** Todos los interruptores ha de ser de corte omnipolar,
- d.** Las instalaciones de transporte deben estar equipadas con un interruptor de desconexión que permita que la instalación eléctrica quede desconectada en periodos de mantenimiento y reparación.
- e.** Cada aparato de elevación o transporte debe tener uno o más mecanismos de parada de emergencia, en todos los puestos de mando de movimiento, deben ser tales que con una sola acción provoquen el corte de toda alimentación apropiada.
- f.** Debe evitarse la reconexión del suministro después del corte de emergencia mediante enclavamientos mecánicos o eléctricos
- g.** La estructura de todos los motores se conectará a tierra, por construcción la continuidad eléctrica está asegurada.
- h.** Los motores deben instalarse de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente.
- i.** Los conductos de conexión que alimentan el motor deben estar sobredimensionados para una intensidad del 125%.
 - i.** La placa de características del motor indica que para una conexión a 220V y 50 Hz que es la que le va a suministrar el variador Altivar 18, se prevé una intensidad de 6,6 A, por tanto, con un cableado AWG 16 se cumpliría la disposición. Adicionalmente, la placa de características del variador Altivar indica intensidades de 12 A, podrá utilizarse la misma clase de cableado AWG 16 en tanto no se superen temperaturas de 90°C, lo cual no está previsto.

El variador Altivar 18, provee de:

- a.** Aislamiento galvánico entre potencia y control
- b.** Protección contra cortocircuitos
- c.** Protección térmica contra calentamientos y sobre corrientes
- d.** Seguridades contra subtensión y sobretensión de red

e. Seguridades contra sobretensiones en el frenado

Por tanto, el variador suple las protecciones previstas en la ITE-BT-47 sobre la instalación de motores, en cuanto a protección contra sobreintensidades, protección contra la falta de tensión, sobreintensidades de arranque y justifica no instalar un reóstato de arranque y regulación de velocidad al motor.

Cuadro eléctrico ³⁴

La ejecución del cuadro eléctrico se ha llevado a cabo en un armario para electricidad del que ya se disponía en el que se han asegurado las conexiones a tierra de los distintos componentes y el propio armario a través de la chapa metálica contenida en el mismo.

El armario alberga:

- a.** Interruptor diferencial omnipolar
- b.** Interruptor magnetotérmico
- c.** Contactor de 3 polos
- d.** Driver LED
- e.** Tarjeta de adquisición de datos
- f.** Bornes de conexión

Se diferenciará entre circuito de potencia, y circuito de mando:

Circuito de potencia

El circuito de potencia comprende los elementos de potencia, que trabajan con corriente alterna de voltajes de 220V e intensidades en éste caso de hasta 6,6A.

- a.** Variador Altivar 18
- b.** Motor ABB 1,5kW
- c.** Interruptor diferencial omnipolar Merlin Gerin multi9 ID
- d.** Interruptor automático magnetotérmico Merlin Gerin multi9 C60N
- e.** Contactor Sirius 3kW 230VAC
- f.** Driver LED 36 CC 700 P240
- g.** Interruptor de botón pulsador DPST 16A 230V
- h.** Botón de emergencia ABB CEPY1-1002 2NC

³⁴ No se ha considerado la inclusión en la memoria del proyecto planos eléctricos de las diferentes conexiones y elementos que conforman los circuitos de potencia y de control, en cambio si se hace una breve descripción en éste anexo.

Circuito de control

El circuito de control comprende los elementos que trabajan con corrientes de bajo voltaje 5V e intensidades del orden de 4,5mA.

- a.** Tarjeta de adquisición de datos USB-6002 de National Instruments
- b.** Tarjeta de 4 Relés a 5V con Octoacoplador SOLIDAR
- c.** Interruptor final de carrera Panasonic AZ7144CEJ

*Funcionamiento, funcionalidades e interconexiones**Circuito de control*

Como se ha expuesto a lo largo de la memoria, el control por parte del usuario operario que ejecute los ensayos, se efectuará mediante un software que comande la tarjeta de adquisición de datos UB 6002 de NI, que hará uso de sus entradas y salidas, digitales y analógicas de 5V y 10 V respectivamente.

Las señales digitales salientes de la USB 6002, se emplean para conmutar el interruptor óptico de las tarjetas de relés SOLDIAR, de forma que conmute las salidas NA y COM de los relés y cierre por tanto el circuito cableado entre los bornes LI1 e LI2 con LO+ del variador Altivar 18, ver ilustración 38. Al cerrar estos bornes el variador comandará el motor para alcanzar una consigna en frecuencia LSP, con un sentido de giro directo e inverso para cada LI1 y LI2 respectivamente.

El software está programado de manera que se delimiten los ensayos a una duración temporal determinada, que en conjunto con la frecuencia seleccionada en el variador configuran el alcance temporal y en distancia, todo delimitado a la longitud hábil del simulador que se ha establecido en 5 metros.

Como seguridad y en previsión de fallos en funcionamiento visto en la identificación de peligros en 2.4.3, si el software no fuera control suficiente para detener el sistema de iluminación se han instalado como seguridad dos interruptores final de carrera Panasonic AZ7144CEJ cuya función es interrumpir o cortar la conexión establecida entre LI1, LI2 y LO+, cuyo propósito es interrumpir la consigna en frecuencia dada por el variador entrando en acción el frenado por inyección de corriente del variador deteniendo el motor sin dejar de tener control sobre el software y sin interrumpir la alimentación general de SIMGLARE, esto es una categoría de parada 1. Se han instalado dos interruptores finales de carrera a lo largo del recorrido útil de la máquina, uno en cada sentido de desplazamiento.

La tarjeta USB 6002 ejerce también el control de la intensidad luminosa del iluminante a través del driver LED mediante una señal analógica de 1V a 10V y 5mA entrante por la conexión DL al driver, y el driver LED alimenta al iluminante a través del circuito secundario³⁵. El software tendrá una descripción ex profeso en el anexo 9.

³⁵ Ver Anexo 6.

El control de iluminación se hace mediante control de 1V a 10V, lo que implica que tanto en cuanto el driver LED reciba alimentación por el primario, y este conexionado al iluminante a través del secundario este permanecerá activo con la regulación que se haya aplicado, es decir que no se apagará en ningún caso. Para lograr el apagado en función de las necesidades del ensayo, la conexión del primario del driver LED se hace pasar por uno de los relés de la tarjeta de 4 relés, y se comandará su activación o desactivación mediante software en el inicio y fin de cada ensayo.

Anexo 8 Calibración y obtención de curvas voltaje-iluminancia

Estrategia:

- a. Disposición de SIMGLARE como banco fotométrico³⁶
 - i. Fijar posición de fuente iluminante en el sistema de propulsión del banco
 - ii. Fijar luxómetro de referencia en el extremo opuesto del banco
- b. Apantallar fuente iluminante con un material difusor que homogeniza el flujo luminoso de los puntos de LED y amplía el pico en cd/klm de la fotometría a 40°.
- c. Generación de la analógica mediante la tarjeta de National Instruments y el software de adquisición programado en LabVIEW.
- d. Una vez encendida la lámpara, y transcurrido un tiempo para la estabilización de la misma de 30 minutos, se toman 10 lecturas del fotosensor Kónica Minolta CL200A, en función de:
 - i. Intensidades lumínicas 1V; 2V; 3V; 4V; 5V; 6V; 7V; 8V; 9V; 10V.
 - ii. Posiciones 0,453m; 1,453m; 2,453m; 3,453m; 4,453m; 5,453m.
 - iii. Recta de ajuste mediante regresión simple lineal iluminancia = f(Voltaje)
 - iv. Recta de ajuste mediante regresión simple: $\frac{1}{y}$; x^2 dada la ley de la inversa de los cuadrados, (Ecuación 6) iluminancia = f(Distancia) para cada nivel de voltaje.
- e. En cada posición, determinar el offset, para lo cual es necesario una vez finalizada la medición, se disminuye la corriente de la lámpara de forma gradual hasta apagarla por completo. Manteniendo la adquisición de datos activa, se toman valores de offset del luxómetro.

Analizando 10 muestras de iluminancia:

	10 V 0,453m	1 V 5.543m
Recuento	10	10
Promedio	11180,8	11,616
Desviación Estándar	21,1655	0,004517
Coefficiente de Variación	0,189303%	0,0388859%

Tabla 14 Análisis de la variable iluminancia. Statgraphics.

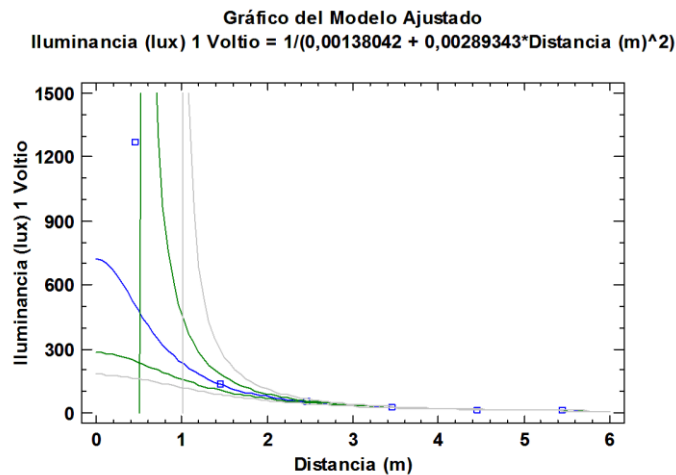
Los resultados determinan poca dispersión de la iluminancia en función del voltaje y la distancia.

³⁶ Evitando en todo caso refracciones de luz debido a los perfiles de aluminio y a la correa

Relación Iluminancia-distancia

Obtenidos los datos, realizado su promedio y realizando una regresión simple entre las variables iluminancia y distancia:

- Variable dependiente: Iluminancia (lux) n Voltios
- Variable independiente: Distancia (m)
- Inversa-Y Cuadrado-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$
- Número de observaciones: 6



Para las muestras de 1 y 10 V respectivamente:

Ilustración 67 Regresión simple, Iluminancia=f(Distancia), para regulación del driver LED de 1 V.

- El análisis de varianza de ambas regresiones retorna un p-valor de 0,0000
- Coeficiente de correlación 0.9994029

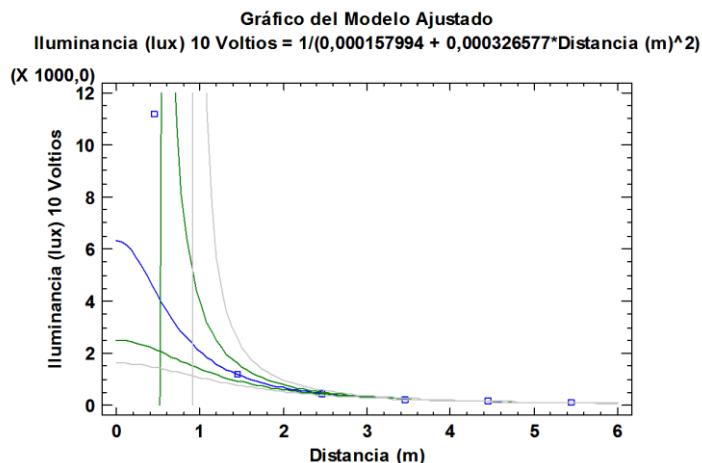


Ilustración 68 Regresión simple, Iluminancia=f(Distancia), para regulación del driverLED de 10 V.

- El análisis de varianza de ambas regresiones retorna un p-valor de 0,0000.

- Coeficiente de correlación 0,999423

Ambos análisis dejan entrever una relación fuerte entre las variables en base al coeficiente de correlación, además el p-valor de la tabla ANOVA en ambos casos de 0,000 estadística significativa entre ellas con un nivel de confianza del 95%.

Se acepta por tanto la ecuación resultante de la regresión simple Inversa-Y Cuadrado-X, para describir la relación entre las variables iluminancia y distancia para la regulación del foco Galad Aurora GD10, regulado con el DriverLED 36 CC 700 P240 y el difusor de metacrilato con ángulo de apertura al 40%.³⁷

Las ecuaciones representativas de la regresión simple son:

$$Iluminancia(1V) = \frac{1}{0,00138042 + 0,00289343 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 59

$$Iluminancia(2V) = \frac{1}{0,000904653 + 0,00176818 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 60

$$Iluminancia(3V) = \frac{1}{0,000559174 + 0,00110057 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 61

$$Iluminancia(4V) = \frac{1}{0,000406832 + 0,00080486 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 62

$$Iluminancia(5V) = \frac{1}{0,000326381 + 0,000642949 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 63

$$Iluminancia(6V) = \frac{1}{0,000273727 + 0,000540851 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 64

$$Iluminancia(7V) = \frac{1}{0,000237411 + 0,000468582 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 65

$$Iluminancia(8V) = \frac{1}{0,000212074 + 0,000414481 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 66

$$Iluminancia(9V) = \frac{1}{0,000189816 + 0,000370149 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 67

$$Iluminancia(10V) = \frac{1}{0,00157994 + 0,000326557 \cdot Distancia^2}$$

Ecuación 68

³⁷ Cualquier cambio en el sistema de iluminación requeriría ineludiblemente una nueva calibración en base a una nueva toma de muestras.

Relación Iluminancia-voltaje

Obtenidos los datos, realizado su promedio y realizando una regresión simple entre las variables iluminancia y voltaje:

- Variable dependiente: Iluminancia (lux) Muestra 1 (5.453m)
- Variable independiente: Voltaje V
- Lineal: $Y = a + b \cdot X$
- Número de observaciones: 11

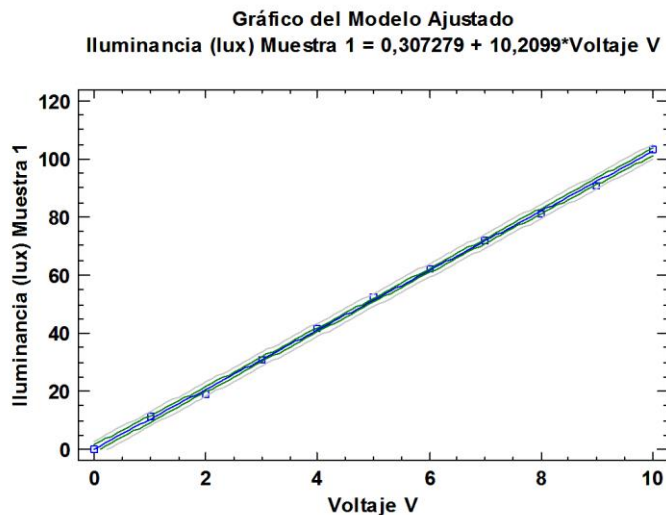


Ilustración 69 Regresión simple, Iluminancia=f(Voltaje), regulación del driverLED de 1 V.

- El análisis de varianza de ambas regresiones retorna un p-valor de 0,0000
- Coeficiente de correlación 0,999608

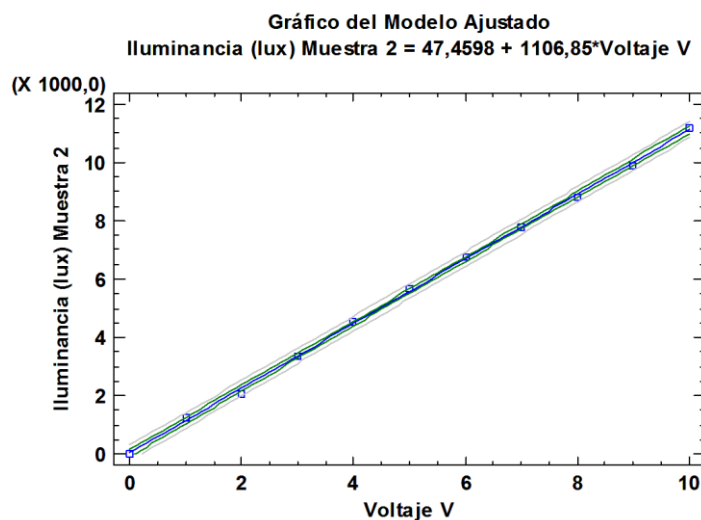


Ilustración 70 Regresión simple, Iluminancia=f(Voltaje), para regulación del driverLED de 10 V.

- El análisis de varianza de ambas regresiones retorna un p-valor de 0,0000
- Coeficiente de correlación 0.999234

Ambos análisis dejan entrever una relación fuerte entre las variables en base al coeficiente de correlación, además el p-valor de la tabla ANOVA en ambos casos de 0,000 estadística significativa entre ellas con un nivel de confianza del 95%.

Se acepta por tanto la ecuación resultante de la regresión simple lineal para describir la relación entre las variables iluminancia y voltaje para la regulación del foco Galad Aurora GD10, regulado con el DriverLED 36 CC 700 P240 y el difusor de metacrilato con ángulo de apertura al 40%.

$$Iluminancia_{d=5.453m} = 0,305121 + 10,2102 \cdot Voltaje$$

Ecuación 69

$$Iluminancia_{d=4.453m} = 0,390525 + 14,5284 \cdot Voltaje$$

Ecuación 70

$$Iluminancia_{d=3.453m} = 0,622708 + 23,8019 \cdot Voltaje$$

Ecuación 71

$$Iluminancia_{d=2.453m} = 0,390525 + 14,5284 \cdot Voltaje$$

Ecuación 72

$$Iluminancia_{d=1.453m} = 2,20205 + 45,2641 \cdot Voltaje$$

Ecuación 73

$$Iluminancia_{d=0.453m} = 7,80813 + 118,71 \cdot Voltaje$$

Ecuación 74

Las ecuaciones: 69, 70, 71, 72, 73, 74 en combinación con la ley de la inversa de los cuadrados Ecuación 6, dan lugar a una ecuación representativa de la iluminancia en función del voltaje y la distancia:

Ejemplo:

$$E_{d=3.453m} = 0,622708 + 23,8019 \cdot V$$

Ecuación 75

$$E_d = \frac{(7,0425 + 283.795 \cdot V)}{d^2}$$

Ecuación 76

La Ecuación 76 servirá como base para el cálculo del voltaje que queramos dar para lograr una determinada iluminancia en función de la distancia, o de la iluminancia que se quiera alcanzar en unas determinadas condiciones de voltaje y distancia.

Para un voltaje de 5V y una distancia de 3 m, según la Ecuación 76:

$$E_{5V,3m} = 158,49 \text{ lux}$$

Con un total de 554 muestras de iluminancia tomadas, para un voltaje de 5V de regulación y una distancia de 3 metros se obtiene:

5V 3m	
Recuento	554
Promedio	163,667
Desviación Estándar	0,186513
Coefficiente de Variación	0,11%

Tabla 15 Análisis de la variable iluminancia para 554 muestras a 5V y 3 m. Statgraphics.

-De la Tabla 15 Análisis de la variable iluminancia para 554 muestras a 5V y 3 m. Statgraphics. se extrae la conclusión de que el promedio de las muestras es 163.667, lo que representa un error relativo del 3,27% del promedio, respecto al valor predicho y poca dispersión entre los datos muestrales. Teniendo en cuenta la repetitividad del 0.5%³⁸ de luxómetro empleado, se acepta como válida en base a lo expuesto la predictibilidad de la Ecuación 76.

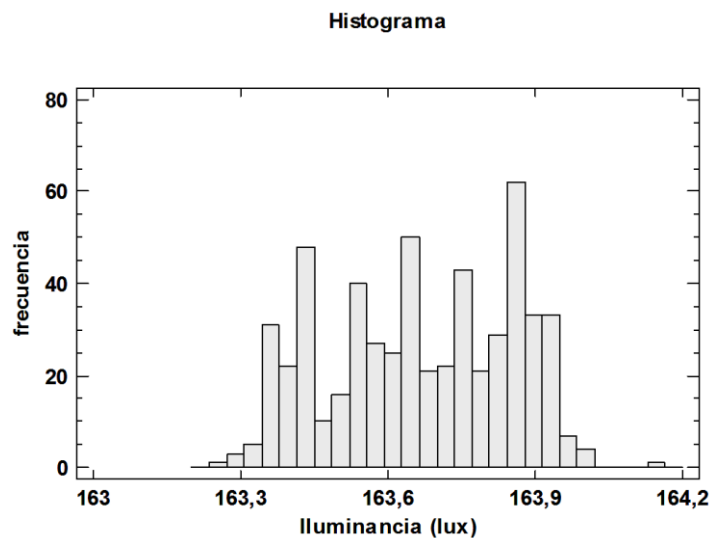


Tabla 16 Histograma de valores muestrales obtenidos a 5V y 3m. Ststgraphics.

Los resultados de las mediciones anteriormente expuestas se realizaron para el punto 0,0, es decir un punto en el que el centro geométrico del haz de luz difuso coincide con la línea de visión del sujeto.

³⁸ Dato proporcionado por KONICA MINOLTA

Fotometría en la zona de ensayo

Se ha definido una zona de ensayo, teniendo en cuenta datos antropométricos de altura sentado y del tamaño de la cabeza, de 40x40 cm, de la que se ha obtenido la fotometría de las curvas iso-lux en diferentes zonas en las que se espera que se sitúe la línea de visión del usuario, obtenidas mediante el luxómetro CL-200A y representadas mediante el programa QGIs.

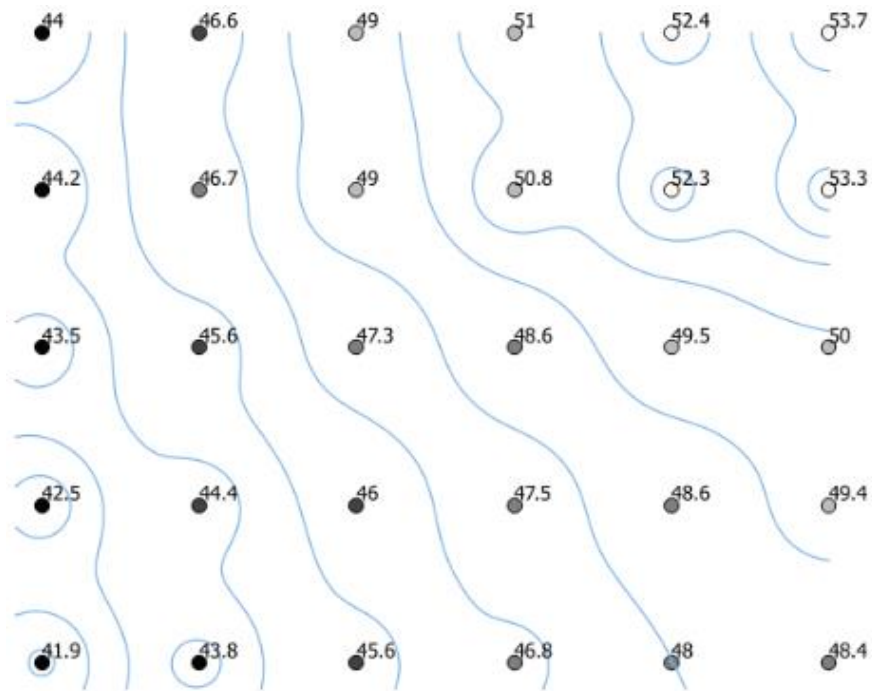


Ilustración 71 Curvas iso-lux con SIMGLARE a regulación 5V y 6,5 metros.

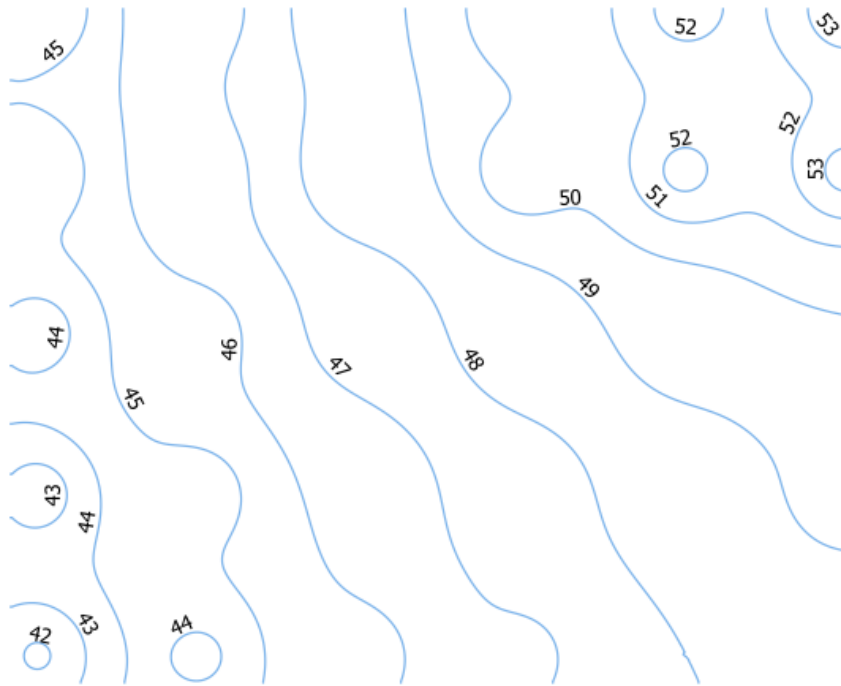


Ilustración 72. Curvas iso-lux con SIMGLARE a regulación 5V y 6,5 metros.

Las fotometrías adjuntas de la zona de ensayo en ilustraciones Ilustración 71 e Ilustración 72, tienen como fin demostrar que existe una homogeneidad entre las curvas iso-lux en el área de ensayo, y que, para la altura de los ojos de una persona sentado, $\bar{X} = 753mm$, $s = 39,78mm$ y $P_{95} = 819.39$ Se concluye que casi el 95% de las personas tendrán situados los ojos en la zona de ensayo independientemente de su tamaño corporal, regulando la altura del asiento.

Ejemplo Curva Iluminancia distancia para Xenón

Seleccionado un ensayo en pista de los que se tiene información acerca de la iluminancia y graficando en Matlab:

³⁹ Datos antropométricos para la población laboral española extraídos de (32)

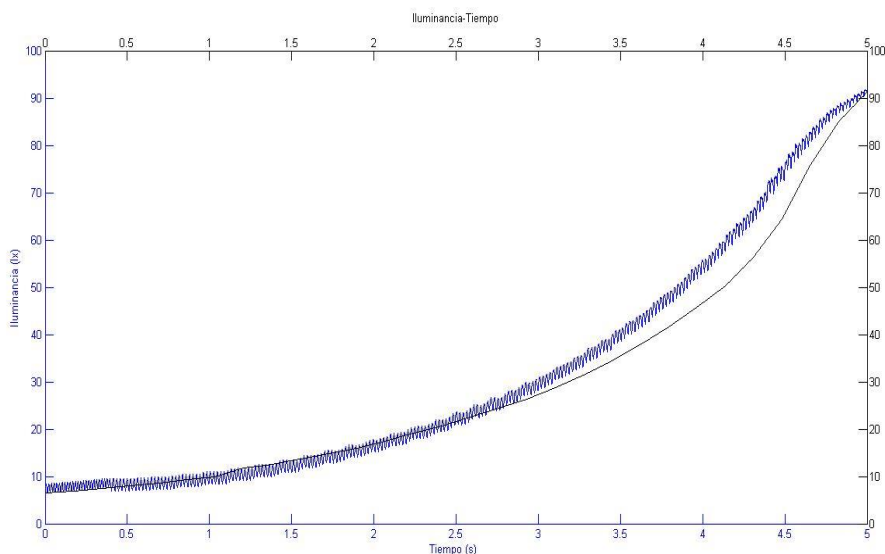


Ilustración 73 Curvas iluminancia distancia, adquiridas en ensayo real (negro) julio 2015 y medida experimentalmente en SIMGLARE, (azul).

La ilustración 73 representa la iluminancia real en función de la distancia en los últimos 5 segundos de la aproximación de un vehículo, para:

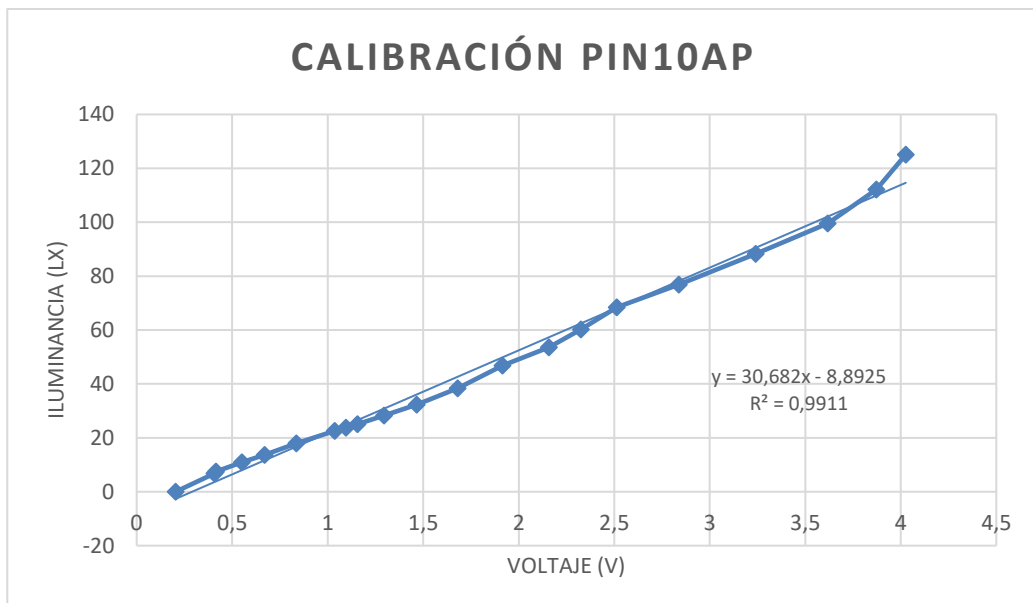
- a.** Ensayo real, en carretera a 40km/h, realizado en Julio de 2015, información suministrada por el IOBA. (14). Iluminante Xenón.
- b.** Ensayo realizado en SIMGLARE, regulación de 2-2.5V a 1m/s en la zona de ensayo.⁴⁰

Es inmediato ver que la curva adquirida con el software se ajusta, aunque presenta discrepancias en los últimos 2 segundos pese a mostrar una tendencia similar a la teórica o a la de ensayo en pista, y estar dentro de los límites en iluminancia lo que podría resolverse modificando el parámetro de ensayo de regulación por voltaje en el transcurso del ensayo.

⁴⁰ Regulación a medida para reproducir la iluminancia de un ensayo en concreto. Se han recogido los últimos 5 segundos del ensayo en carretera.

La curva experimental se ha obtenido mediante la adquisición de datos prevista en el software, ver Anexo 9, con:

- a.** Fotodiodo PIN10AP de Optoelectronics.
- b.** Tarjeta de amplificación para fotodiodos Sglux41.
- c.** La calibración del fotodiodo se ha realizado tomando como luxómetro patrón el KONICA MINOLTA C200A utilizado a lo largo del proyecto, tomando valores de voltaje e iluminancia para distintas regulaciones en voltaje.



⁴¹ Tras diversas pruebas, se ha empleado un difusor en el fotodiodo, de forma que sea capaz de medir en su zona lineal de comportamiento 120-150 lux.

Anexo 9 SIMGLARE Software Application

El control del sistema se efectúa mediante un programa basado en el software LabVIEW. Elegido por:

- Disponer de una tarjeta de adquisición de datos National Instruments dotada de entradas y salidas analógicas y digitales.
- Se programa en entorno con una sintaxis de programación gráfica, que utiliza un modelo de flujo de datos que facilita el desempeño.

El software de control de SIMGLARE en su versión 1.0 aúna la capacidad de sincronizar en un ensayo la activación de los niveles lógicos memorizados en el variador, obteniendo el control del sentido de giro del motor y por tanto la dirección de avance del sistema de iluminación, con la regulación del flujo luminoso emitido por el iluminante regulable mediante la interfaz 1-10V del driver LED analógico mediante una señal de salida analógica de la tarjeta de adquisición. Adicionalmente el programa adquiere una señal analógica proveniente del sensor fotodiodo dinámico cuyo comienzo y fin de adquisición está sincronizado con el comienzo y fin de ensayo.

La estructura del programa se compone de un VI's principal que llama a VI's secundarios que a su vez se comunican con VI's auxiliares que leen datos almacenados en ficheros de texto, todos interdependientes.

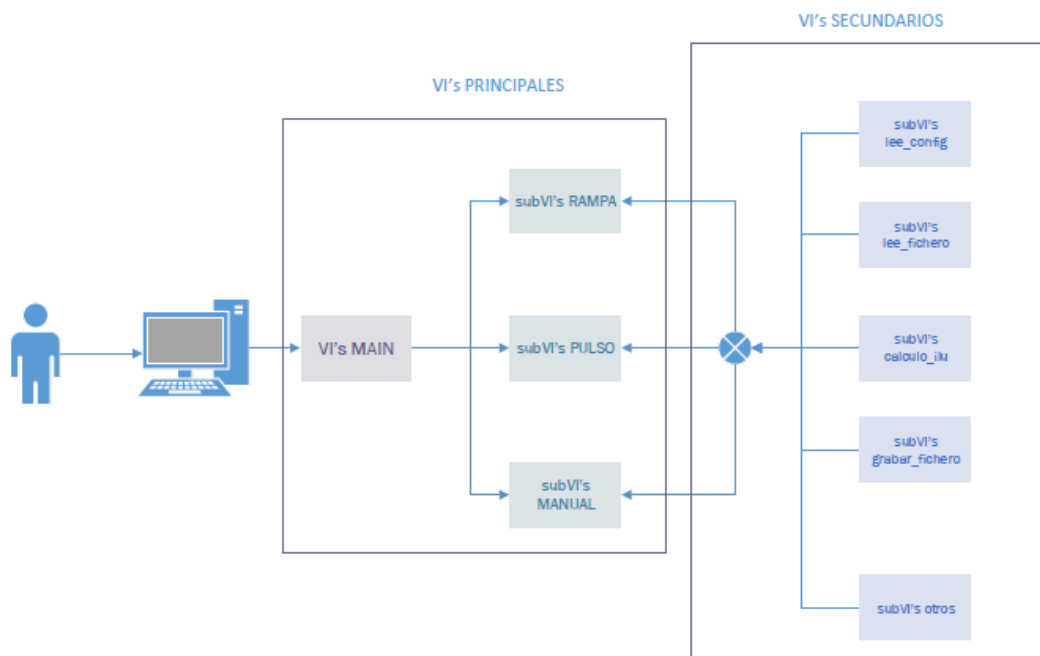


Ilustración 75 Estructura de flujo de VI's el software LabVIEW. Elaboración propia.

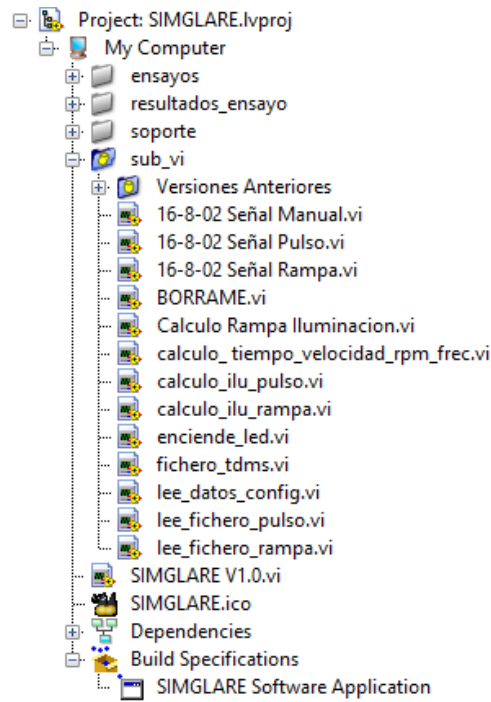


Ilustración 76 Captura de pantalla estructura Proyecto LabVIEW

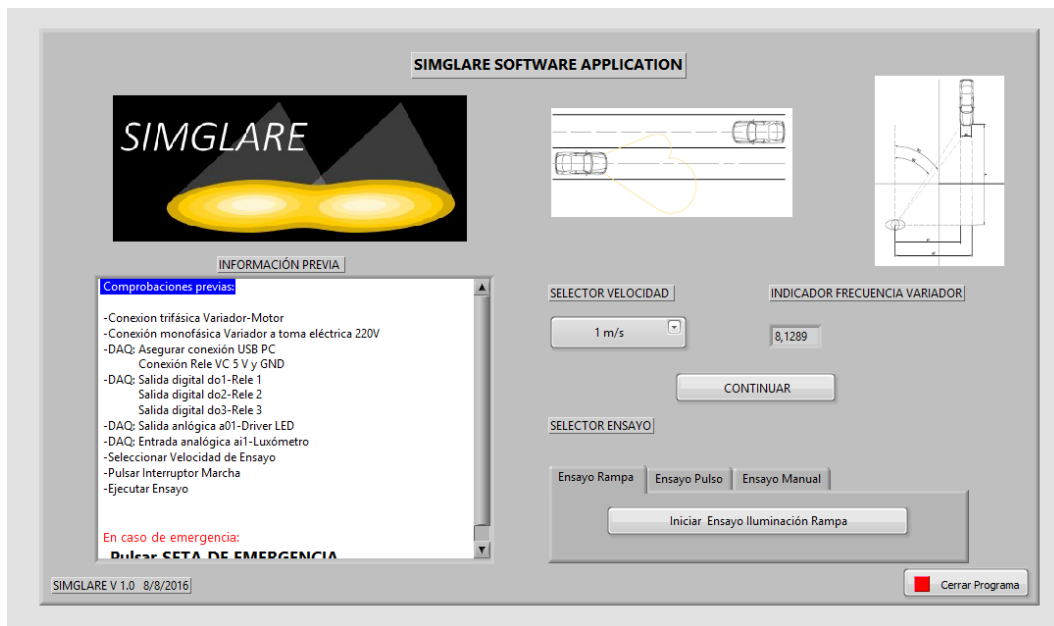


Ilustración 77 Captura de pantalla de la interfaz principal de Simglare Software Application

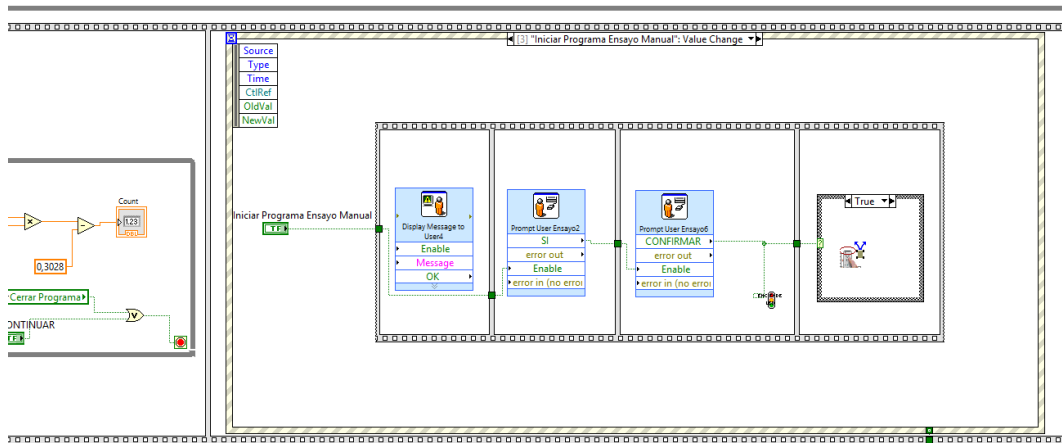


Ilustración 78 Captura de pantalla deL diagrama de bloques de la interfaz principal de Simglare Software Application.

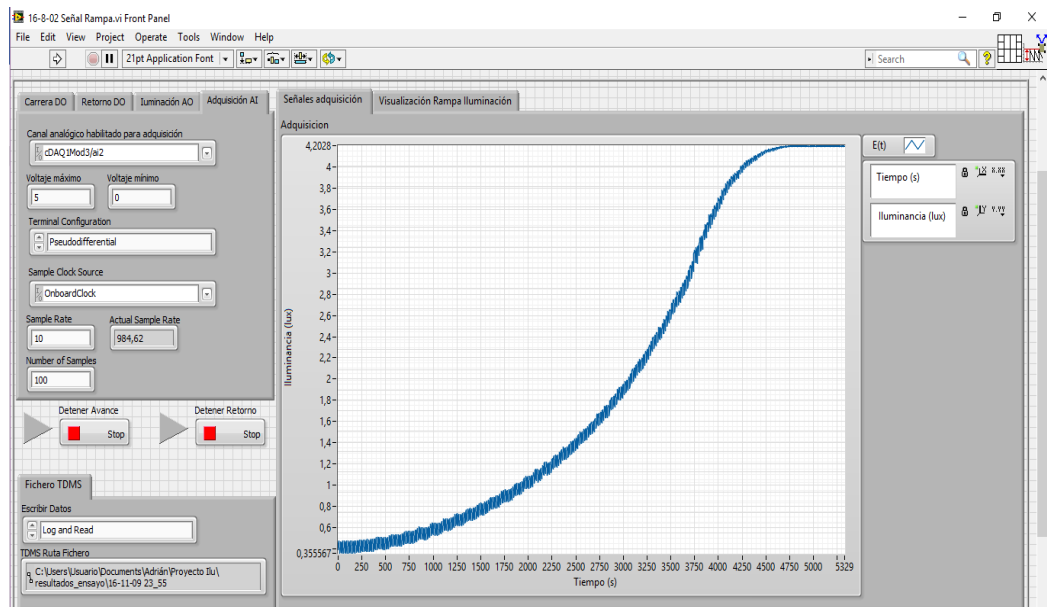


Ilustración 79 Captura de pantalla de la interfaz subVI's Ensayo Rampa

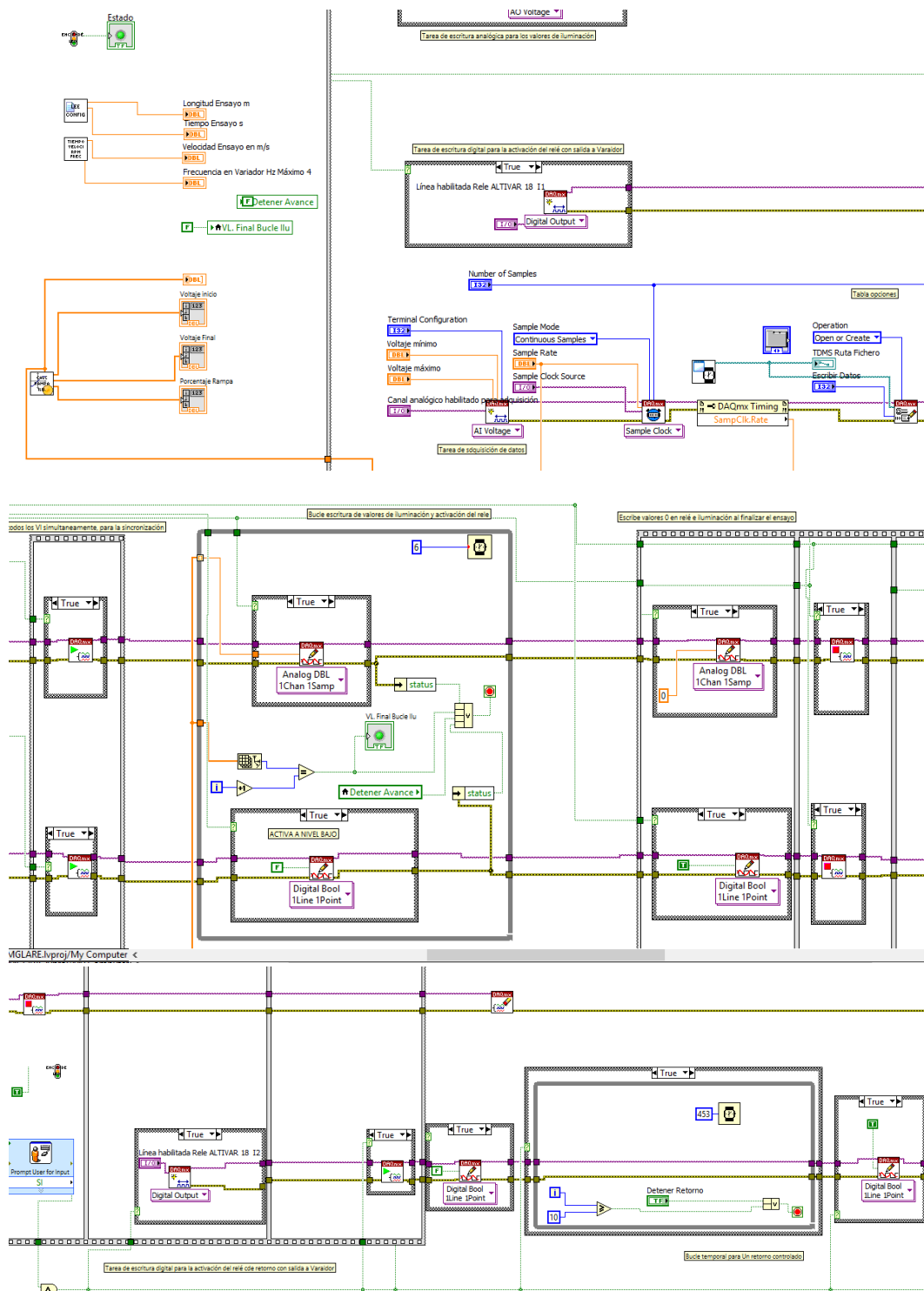


Ilustración 80 Captura de pantalla del diagrama de bloques del ensayo rampa de Simglare Software Application.

Anexo 10 Información para la utilización

En base a las operaciones que realiza la máquina y las tareas a efectuar por las personas que interactúan con ella:

- a.** Previo a cada ensayo, el operador ha de cerciorarse de la correcta posición del perfil sostenedor del sistema de iluminación, cuya posición se indica mediante una flecha azul situada a tal efecto.



Ilustración 81 Flecha indicadora de la posición inicial del sistema de iluminación previo al ensayo.

- b.** Ejecución del ensayo
- i Posicionamiento del sujeto en la zona habilitada.
 - ii Conexión de alimentación eléctrica general al cuadro eléctrico.
 - iii Conexión USB del sistema de adquisición de datos con el ordenador
 - iv Ejecución software
 - v Elección de ensayo y ejecución
 - vi Desconexión de alimentación eléctrica general al cuadro eléctrico.
- c.** En caso de emergencia derivado de atascos, bloqueos y/o cualquier funcionamiento no previsto, el operario de ensayo interrumpirá mediante el accionamiento de dos botones de emergencia situadas en pórtico contiguo al paciente, y en la zona de control, el suministro de corriente al cuadro general.
- Se procederá a retirar la alimentación eléctrica al cuadro eléctrico general. Tras solventar la causa que dio lugar a emergencia y solo tras solventarla, se desenclavarán los pulsadores de emergencia.
- En ningún caso y bajo ninguna circunstancia se habrá de rearmar el botón de arranque sin solventar el origen de la situación de emergencia derivada de cualquier funcionamiento no previsto
- d.** Sustituciones de sistema iluminante, mantenimientos preventivo o correctivo, búsqueda de averías y limpieza de la máquina, todas ellas han de realizarse con la máquina parada y desconectada de la red eléctrica.
- e.** En ningún caso persona alguna ha de tocar o introducir total o parcialmente parte corporal alguna en el interior del sistema de guiado de SIMGLARE o interponerse en la trayectoria del sistema iluminante.

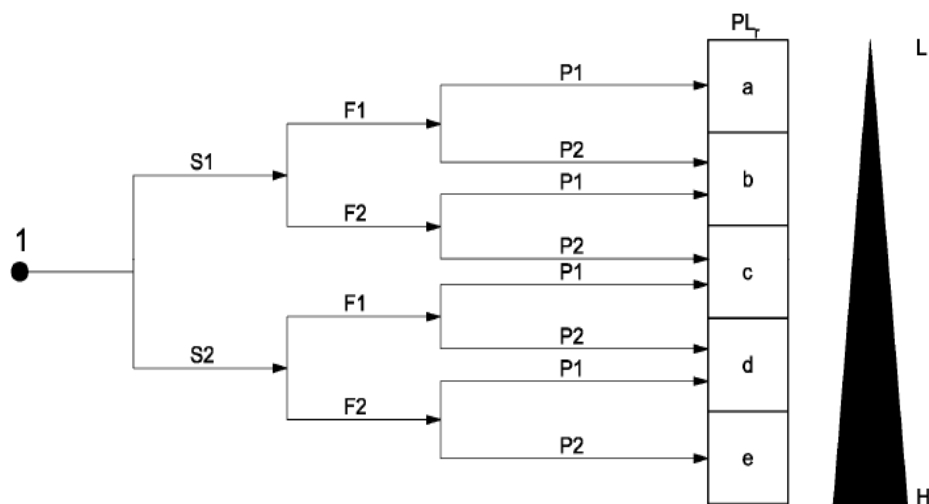
Anexo 11 Diseño de las funciones de seguridad ISO 13849-1

Selección y diseño de las partes del sistema de mando relativas a seguridad.

Se diseñan dos SRP/CS para obtener la reducción del riesgo requerida, que es la de parada del sistema de accionamiento en caso de que el software de control no lo detenga, ya que se puede producir un aplastamiento por los componentes móviles y la de interrupción general de la alimentación de energía eléctrica:

1. Medida de seguridad de parada final de carrera.
2. Medida de interrupción de la alimentación de energía eléctrica.

Se le asigna un nivel de prestaciones requerido PLr acorde a:



Leyenda

- 1 punto de partida para la estimación de la contribución de las funciones de seguridad a la reducción del riesgo
- L contribución a la reducción del riesgo baja
- H contribución a la reducción del riesgo alta
- PLr nivel de prestaciones requerido

Parámetros del riesgo:

- S Gravedad de la lesión
- S1 Lesión leve (normalmente reversible)
- S2 Lesión grave (normalmente irreversible, incluyendo la muerte)
- F Frecuencia y/o duración de la exposición al peligro
- F1 Raro a bastante frecuente y/o corta duración de la exposición
- F2 Frecuente a continuo y/o larga duración de la exposición
- P Posibilidad de evitar el peligro o de limitar el daño
- P1 Posible en determinadas condiciones
- P2 Raramente posible

Ilustración 82 Cálculo nivel de prestaciones PLr ISO 13849-1 (32)

Para ambas SRP/CS, en caso de que este acontezca, la gravedad de una lesión es de lesión ligera, incluye cardenales o laceraciones de carácter normalmente reversibles.

En cuanto a la frecuencia y/o duración de exposición, durante el tiempo de ensayo, la persona está raramente expuesta al peligro, ya que no se contempla el acceso a la zona de guiado en ningún momento. En éste caso por tanto F1.

La posibilidad de evitar el peligro en el tipo de ensayo para el que la máquina está diseñado es posible dado que en todo momento se tiene visibilidad de la zona de guiado y la velocidad de desplazamiento máximo es suficientemente lenta, el operario es perfectamente capaz de evitar lesiones si la maquina se mueve. No son posibles arranques intempestivos dada la incorporación de un interruptor marcha paro con rearme, por tanto, se escoge un nivel P1.

En base a los parámetros de riesgo escogidos, el nivel de prestaciones requerido PLr es **a**.

Se elige una arquitectura de categoría B, la estructura del sistema de mando relativa a las medidas de seguridad comprende una entrada y una salida, se prescinde de un subsistema lógico por carecer de sentido.

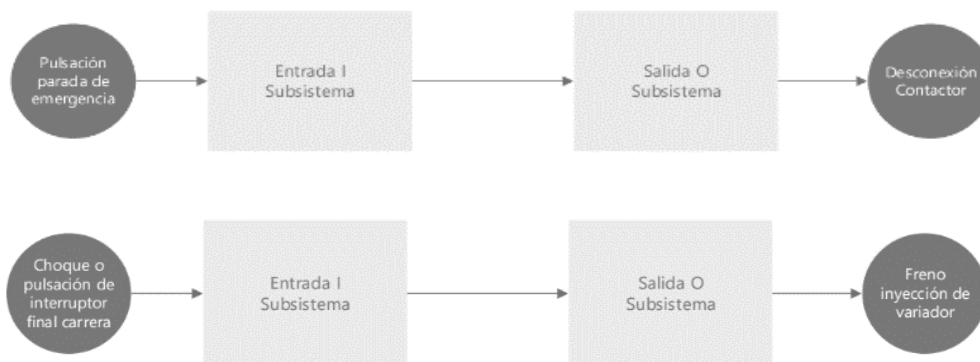


Ilustración 83 Diagrama funciones de seguridad

Determinación de $MTTF_d$

Para todas las funciones de seguridad el número de operaciones suponiendo 220 días trabajados, durante 8 horas diarias, teniendo en cuenta un tiempo entre ensayos de 60 segundos:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600s/h}{t_{ciclo}} = \frac{220dia/año \cdot 8h/dia \cdot 3600s/h}{60s}$$

$$= 1,056 \cdot 10^5 ciclos/año$$

Ecuación 77

Y que:

$$T_{10d} = \frac{B_{10d}}{n_{op}}$$

Ecuación 78

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{op}}$$

Ecuación 79

El $MTTF_d$ para el canal:

$$\frac{1}{MTTF_d} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{di}}$$

Ecuación 80

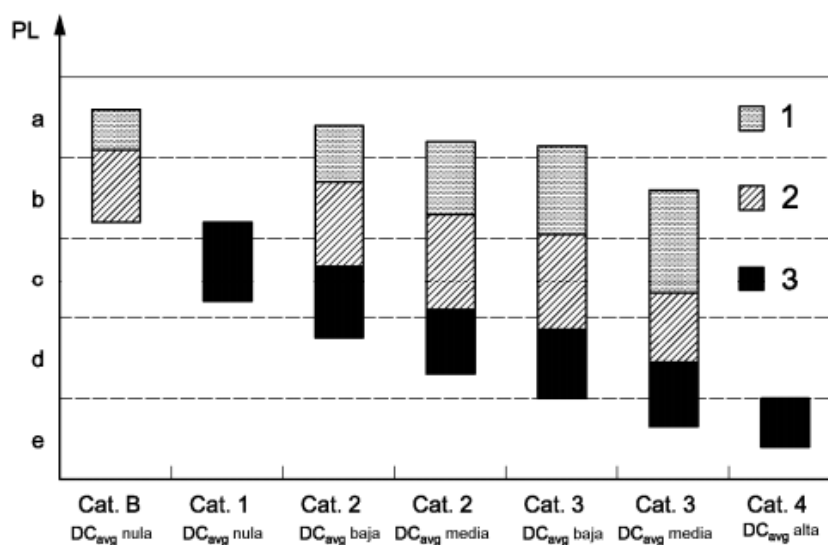
En cuanto a la determinación Cobertura de diagnóstico media DC_{avg} , los fabricantes del interruptor de posición de seguridad y del módulo relé no dan datos acerca de la cobertura de diagnóstico DC, siendo conservadores se determina que ésta es 0%. Por tanto, queda determinado $DC_{avg}=0$.

Resultado

SRP/ CS	Dispositivo	n_{op}	B_{10d}	T_{10d}	$MTTF_{di}$	$\frac{1}{MTTF_d}$	$MTTF_d$
		<i>ciclos/año</i>	<i>ciclos</i>	<i>año</i>	<i>año</i>		<i>año</i>
1	Panasonic AZ7144CEJ	$1,056 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	1,8	18	0,056	17
	Relé SOLDIAR	$1,056 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^7$	189	1890		
2	ABB CEPY1-1002 2NC	$1,056 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	18	180	0,0059	169
	Sirius 3kW 230VAC	$1,056 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^7$	284	2840		

Tabla 17 Resultados cálculo MTTFd de las SRP/CS

Teniendo en cuenta que disponemos de una arquitectura de categoría B, un $MTTF_d$ medio para la SRP/CS 1 y un $MTTF_d$ alto para la SRP/CS 2, en base a Ilustración 84 y una cobertura de diagnóstico media nula, se ha alcanzado un PL=a, lo que cumple el PLr requerido.



Leyenda

PL: nivel de prestaciones

1 MTTF_d de cada canal = bajo

2 MTTF_d de cada canal = medio

3 MTTF_d de cada canal = alto

Ilustración 84 Nivel de seguridad categoría ISO 13849-1 (32)

MTTF _d	
Índice para cada canal	Gama para cada canal
Bajo	3 años ≤ MTTF _d < 10 años
Medio	10 años ≤ MTTF _d < 30 años
Alto	30 años ≤ MTTF _d ≤ 100 años

Tabla 18 Índice para cada MFFT_d ISO13849-1 (32)

Anexo 11 Foto galería



Ilustración 85 Fotografía SIMGLARE vista general.



Ilustración 86 Fotografía SIMGLARE vista lateral.



Ilustración 87 Fotografía SIMGLARE vista frontal, sin resguardo.

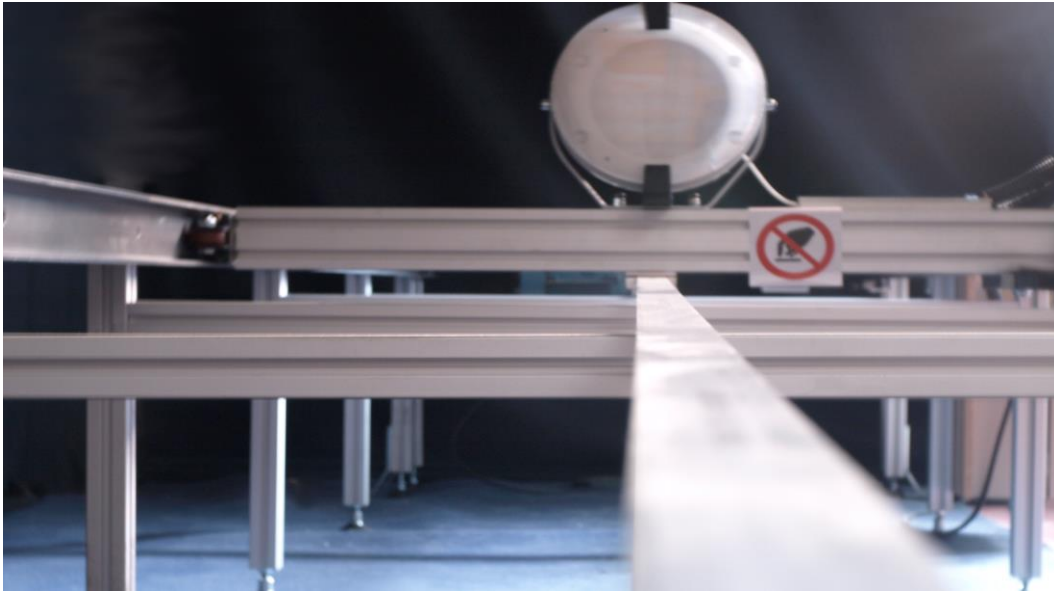


Ilustración 88 Fotografía SIMGLARE vista frontal en perspectiva

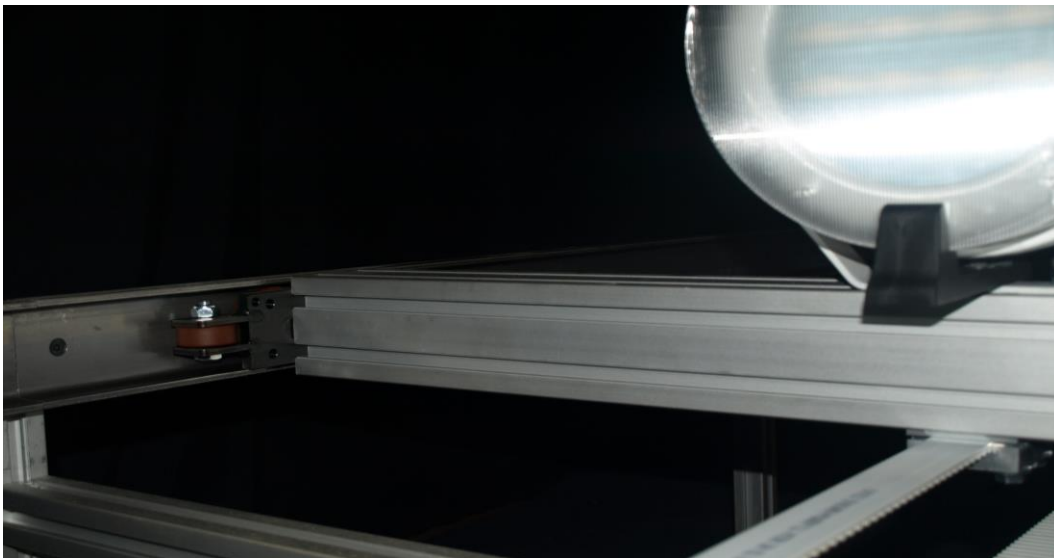


Ilustración 89 Fotografía SIMGLARE vista de los rodamientos.

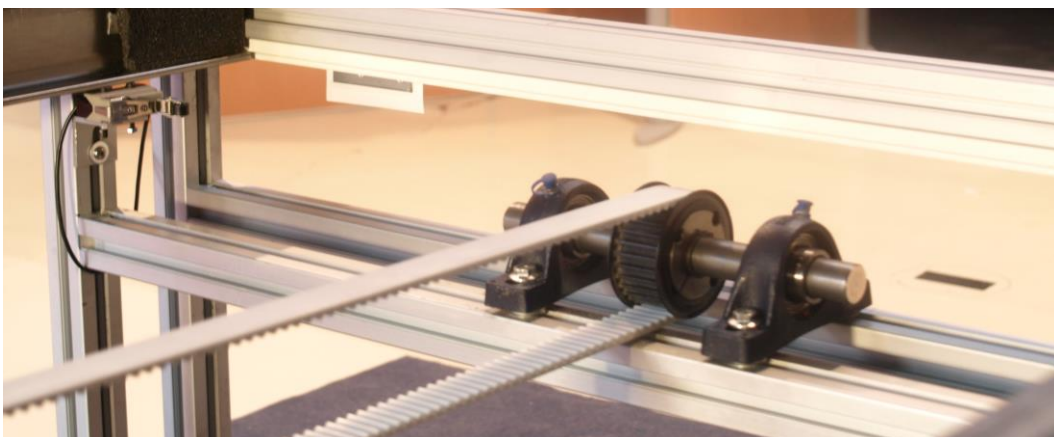


Ilustración 90 Fotografía SIMGLARE vista eje, poleas y cojinetes sin resguardo.



Ilustración 91 Fotografía SIMGLARE vista motor con resguardo

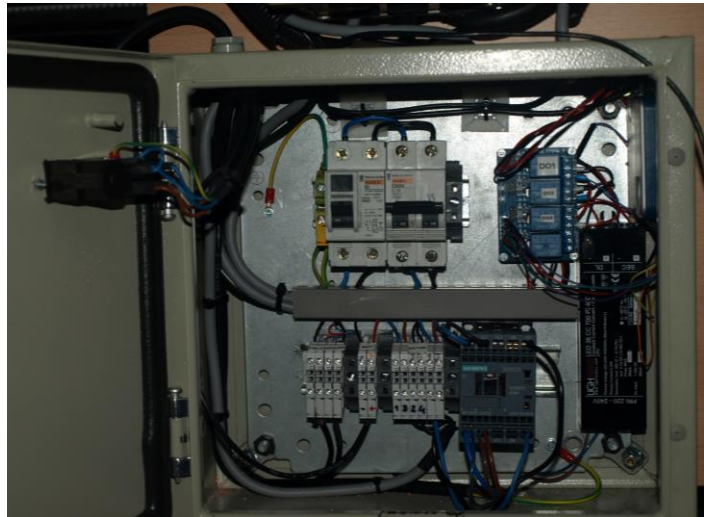


Ilustración 92 Fotografía SIMGLARE cuadro eléctrico vistas general e interior.



Ilustración 93 Fotografía SIMGLARE zona de mando

Anexo 12 Planos

Se incluyen planos:

- a.** *Plano número 1 Ensamblaje y despiece Estructura SIMGLARE*
- b.** *Plano número 2 Pieza a mecanizar Eje con chavetero 8x4,7x40 DIN885 y ranurado circlip Ø25 DIN 471*
- c.** *Plano número 3 Ensamblaje y despiece Eje, Chaveta 8x7x40 DIN885, Circlip Ø25 DIN 471*
- d.** *Plano número 4 Perfil U Standard M 2000*